



# Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen



Eine Studie über die Abwärmenutzung bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit einer Leistung von 150 und 500 kW<sub>el</sub>

## Impressum

### Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen

ISBN (Online-Version): 978-3-940009-32-6

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071 - 0

Fax: 0821 9071 - 5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Bearbeitung/Text/Konzept:

M. Gaderer, M. Lautenbach, T. Fischer (alle ZAE Bayern), G. Ebertsch (LfU Ref. 21)

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern)

Walther-Meißner-Straße 6, 85748 Garching

[www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)

unter Mitwirkung des LfU und der Bayerischen Bezirksregierungen

Druck: Eigendruck Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand: November 2007

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



Das Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert.



# Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Methodik .....	6
1.1	Motivation .....	6
1.2	Methodik .....	6
1.3	Wie lese ich die Studie? .....	7
2	Referenzanlagen .....	8
2.1	Beschreibung der Referenzanlagen .....	8
2.2	Wirtschaftlichkeit der Referenzanlagen .....	11
3	Sechs Varianten der Abwärmenutzung und Zusammenfassung der Ergebnisse .....	14
3.1	Sechs Varianten der Abwärmenutzung .....	14
3.2	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	17
3.2.1	Wirtschaftlichkeit .....	17
3.2.2	Energiebilanz .....	24
3.2.3	Reduktion von Treibhausgasemissionen .....	27
3.2.4	Gesamtbewertung .....	28
4	Wärmenutzung in der Landwirtschaft und Kommune–Variante 1 .....	31
4.1	Einführung .....	31
4.2	Randbedingungen für Trocknungsprozesse, Ferkelzucht und Gewächshaus .....	31
4.3	Ergebnisse Trocknungsprozesse, Ferkelaufzucht, Gewächshausbeheizung .....	32
4.4	Trocknungsprozess für Holzhackschnitzel .....	36
4.5	Trocknungsprozesse für Scheitholz- und Schnittholz .....	38
4.6	Trocknungsprozesse für Getreide .....	39
4.7	Trocknungsprozesse für Heil- und Gewürzpflanzen .....	40
4.8	Trocknungsprozesse für Klärschlamm .....	41
4.9	Beheizung einer Ferkelaufzucht .....	42
4.10	Gewächshausbeheizung .....	43
5	Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz–Variante 2 .....	44
5.1	Einführung .....	44
5.2	Randbedingungen für die Nahwärmekonzepte .....	46
5.3	Nahwärmenetzkonzept mit Pufferspeicher .....	47
5.4	Nahwärmenetzkonzept mit saisonalem Speicher .....	47
5.5	Wirtschaftlichkeit der Nahwärmekonzepte .....	50
6	Wärmeversorgung mit mobilen Speichern–Variante 3 .....	52
6.1	Einführung und Stand der Technik .....	52
6.2	Randbedingungen für die mobilen Speicherkonzepte .....	56
6.3	Wirtschaftlichkeit der mobilen Speicherkonzepte .....	57
7	Wärme- und Kälteversorgung–Variante 4 .....	61
7.1	Einführung und Stand der Technik .....	61
7.2	Randbedingungen für die Wärme- und Kälteversorgungskonzepte .....	64
7.3	Wirtschaftlichkeit der Wärme- und Kälteversorgungskonzepte .....	66
8	Alternative Stromerzeugung und Effizienzsteigerung–Variante 5 .....	69
8.1	Einführung .....	69
8.2	Effizienteres Motor-BHKW .....	69

8.3	Motor-BHKW mit ORC-Nachverstromung.....	72
8.4	Mikrogasturbinen.....	76
8.5	Brennstoffzellen.....	77
9	Biogasleitung–Variante 6.....	79
9.1	Einführung und Stand der Technik.....	79
9.2	Rechtliche Aspekte.....	80
9.3	Randbedingungen für die Biogasleitungskonzepte.....	80
9.4	Wirtschaftlichkeit der Biogasleitungskonzepte.....	82
10	Praxisbeispiele der Abwärmenutzung.....	84
10.1	Bayerische Biogasanlagen mit Abwärmenutzung.....	84
10.2	Kombinationen von Abwärmenutzungsmöglichkeiten.....	85
10.3	Holzhackschnitzeltrocknung.....	87
11	Treibhausgasemissionen.....	89
11.1	Treibhausgasbilanz der Biogas-Referenzanlagen.....	89
11.2	Treibhausgasbilanz der Abwärmenutzungsvarianten.....	94
12	Literaturverzeichnis.....	95
13	Anhang.....	3
13.1	Methodik der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	3
13.1.1	Methodik der Ermittlung von Kosten- und Erlösen.....	3
13.1.2	Kostenwerte für die Investitionen und den Anlagenbetrieb.....	6
13.2	Referenzanlagen.....	8
13.3	Wärmenutzung in der Landwirtschaft und Kommune–Variante 1.....	13
13.3.1	Trocknungsprozesse für Holzhackschnitzel–Variante 1.....	14
13.3.2	Trocknungsprozesse für Getreide–Variante 1.....	16
13.3.3	Trocknungsprozesse für Heil- und Gewürzpflanzen–Variante 1.....	22
13.3.4	Trocknungsprozesse für Klärschlamm–Variante 1.....	24
13.3.5	Beheizung einer Ferkelaufzucht–Variante 1.....	28
13.3.6	Gewächshausbeheizung–Variante 1.....	30
13.4	Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz–Variante 2.....	32
13.5	Wärmeversorgung mit mobilen Speichern–Variante 3.....	36
13.6	Wärme- und Kälteversorgung–Variante 4.....	43
13.7	Effizienteres Motor-BHKW (Zündstrahlmotor)–Variante 5.....	48
13.7.1	Motor-BHKW mit ORC-Nachverstromung–Variante 5.....	51
13.7.2	Brennstoffzellen–Variante 5.....	54
13.8	Biogasleitung–Variante 6.....	55
13.9	Treibhausgasbilanz.....	61
13.10	Bilanzen zu Biogasreferenzanlagen und Varianten.....	68

## **Danksagung**

Das ZAE Bayern dankt dem Landesamt für Umwelt (LfU) und dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) für die Vergabe der Arbeiten.

Zum erfolgreichen Gelingen der Studie haben seitens des LfU, der bayerischen Bezirksregierungen und dem ZAE Bayern zahlreiche Personen mitgewirkt. Insbesondere Herrn Gerald Ebertsch vom LfU sei hier gedankt für die konstruktive Kritik und gute Zusammenarbeit.

Garching, 2007

Autoren ZAE Bayern  
Matthias Gaderer  
Max Lautenbach  
Dr. Thomas Fischer  
Georg Storch  
Daniela Franke

## Verwendete Abkürzungen und Definitionen

A	Jahr (annus)
anfallende Abwärme	Abwärme inklusive aller Anteile und Verluste
Abwärmepotenzial	Abwärme nach Abzug der Fermenter-, Gebäudebeheizung, Abgasverluste und Wärmenutzung der Variante
Abwärmepotenzial der Referenzanlage	Abwärme nach Abzug der Fermenter-, Gebäudebeheizung und Abgasverluste
nutzbare Abwärme	Abwärme nach Abzug der Abgasverluste
AKM	Absorptionskältemaschine
Annuität Investition und Instandsetzung	Die Annuität nach VDI 2067 beinhaltet die jährlichen Kosten für Kapital (Zinsen) und Rückzahlung (Tilgung) der Investitionssumme (Barwert-Restwert). In der Annuität nach VDI 2067 sind Instandsetzungskosten enthalten.
Barwert	Der Barwert stellt den heutigen Wert (abgezinst) des im Laufe der 20 Jahre Betrachtungszeitraum investierten Kapitals dar. Es sind darin Investitionen in Ersatzbeschaffungen innerhalb dieses Zeitraums enthalten.
BHKW	Blockheizkraftwerk, als Kolbenmotor für Biogas ausgeführt
Brst	Brennstoff, oft als Index für den Bezug auf Brennstoffenergie verwendet
ct	Eurocent
DE	double effect (zweistufige Absorptionskältemaschine)
d. h.	das heißt
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
el	elektrisch, meist als Index für elektrische Energie verwendet
EnEV	Energie-Einsparverordnung
FM	Feuchtmasse, frische und nasse Masse inkl. Wasser, oft Bezugsbasis für Werte
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
Gewinnannuität	Die Differenz der Summe der jährlichen Einnahmen und der jährlichen Kosten ergibt die Gewinnannuität. Die Gewinnannuität entspricht einem jährlichen Gewinn bzw. bei negativem Vorzeichen einem jährlichen Verlust.
GV	Großvieheinheiten
KKM	Kompressionskältemaschine
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
kW	Kilowatt (Leistung)
kWh	Kilowattstunde (Energie = Leistung * Zeit)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	KWK-Gesetz
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

MCFC	Molten Carbonate Fuel Cell (Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle)
Methanschlupf	Menge an Methan, die als unverbranntes Methan oder durch Leckagen freigesetzt wird
MWh	Megawattstunde
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe gemäß EEG
Nutzenergie	erforderliche Energie zum Betrieb einer Anlage ohne Berücksichtigung des Jahresnutzungsgrades einer Feuerung
ORC	Organic Rankine Cycle
PAFC	Phosphoric Acid Fuel Cell (Phosphorsäure-Brennstoffzelle)
PCM	Phase Change Material (Phasenwechselmaterial)
PEM	Proton Exchange Membrane (Protonen-Austausch-Membran-Brennstoffzelle)
Rentabilität	<p>Als Rentabilität wird für die Varianten folgende vereinfachte Größe verwendet.</p> $Rentabilität = \frac{Gewinnannuität}{Investition (Barwert - Restwert)}$ <p>Die Rentabilität ist ein Maßstab für den Ertrag, den das eingesetzte Kapital erbringt. Als Investition wird der Barwert minus Restwert verwendet.</p>
Restwert	Der Restwert stellt den heutigen Wert (abgezinst) von Anlagenkomponenten am Ende der Nutzungsdauer dar. Der Restwert ist zu berücksichtigen, wenn die Nutzungsdauer über den Betrachtungszeitraum hinausgeht.
RME	Rapsmethylester (Biodiesel)
SE	single effect (einstufige Absorptionskältemaschine)
Sensitivitätsanalyse	Zur Beurteilung der Stabilität und der Veränderung der Ergebnisse bei veränderten Randbedingungen werden <i>Sensitivitätsanalysen</i> durchgeführt. Bei einer Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss von Veränderungen betrachtet. Jeweils ein Parameter wird dabei verändert.
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell (Oxidkeramische Brennstoffzelle)
Srm	Schüttraummeter
TG	Trockengut
th	thermisch, meist als Index für thermische Energie verwendet
THG	Treibhausgas
TM	Trockenmasse, absolut trocken, oft Bezugsbasis für Werte
u	Feuchte, Wassergehalt in % der Trockenmasse (TM)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
w	Wassergehalt in % der Feuchtmasse (FM)
z. B.	zum Beispiel

# 1 MOTIVATION UND METHODIK

## 1.1 Motivation

Der Betrieb von Biogasanlagen hat in Deutschland seit einigen Jahren einen erheblichen Aufschwung erfahren. Biogasanlagen trugen im Jahr 2005 mit 0,5 % zur Deckung des deutschen Stromverbrauchs bei [BMU\_EE, 2006]. So ist bis Ende 2006 in Bayern die Zahl der Biogasanlagen auf ca. 1.350 Anlagen angestiegen. Dies entspricht mehr als einem Drittel der bundesweit installierten Biogasanlagen. Die bayerischen Biogasanlagen decken derzeit fast 2 % des bayerischen Strombedarfs, das entspricht dem Strombedarf von ca. 400.000 Haushalten. Damit kann die Biogastechnologie besonders in ländlichen und strukturarmen Gebieten einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung und zur Strukturstärkung leisten. Da auch regenerative Energien nur begrenzt zur Verfügung stehen, ist eine energieeffiziente, umwelt- und klimafreundliche Nutzung dieser Technologie besonders erforderlich.

Mit der derzeit üblichen Verstromung von Biogas in Blockheizkraftwerken (BHKW) können derzeit etwa 40 % der eingesetzten Energie in Strom umgewandelt werden. Ein Großteil der Energie fällt als Abwärme an, von der meist nur ein kleiner Anteil von etwa 10 % für die Fermenterbeheizung und für die Beheizung des landwirtschaftlichen Anwesens genutzt wird. Die Energie ist in der Motorabwärme, Motorkühlung und vor allem im heißen Abgas der BHKWs enthalten. Besonders bei kleinen Biogas-BHKWs bleibt das Abwärmepotenzial bisher zum größten Teil ungenutzt.

Eine Nutzung dieses Abwärmepotenzials verbessert nicht nur die Energieeffizienz der Anlagen. Sie bietet auch weitere Entwicklungs- und Einkommensmöglichkeiten für landwirtschaftliche Betriebe und schafft Entwicklungsmöglichkeiten für den ländlichen Raum. Aus diesem Grund wurde vom Bayerischen Landesamt für Umwelt das Projekt *Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen* initiiert, das vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert wurde.

Ziel des Projektes ist es geeignete Technologien zur Erschließung des Abwärmepotenzials von Biogasanlagen für Interessierte zugänglich zu machen. Hierzu wurde eine Machbarkeitsstudie erstellt, die die verschiedenen Möglichkeiten einer effizienteren Abwärmenutzung aufzeigt und auf die technische und wirtschaftliche Realisierbarkeit untersucht. Gleichzeitig wurde im Projekt an zwei ausgewählten bayerischen Biogasanlagen die Praxistauglichkeit von aussichtsreichen Wärmenutzungstechnologien untersucht und durch Messungen begleitet. Die Ergebnisse des Praxistests werden gesondert veröffentlicht.

## 1.2 Methodik

### **Grundsätzliche Vorgehensweise**

Ausgangspunkt für die Betrachtungen in der vorliegenden Studie sind landwirtschaftliche Modell-Biogasanlagen mit zwei typischen Leistungsklassen von 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub>. Innerhalb der beiden Leistungsklassen werden jeweils die für Bayern typischen landwirtschaftlichen Nutzungskonzepte (bayerischer Milchvieh- und bayerischer Ackerbaubetrieb) betrachtet, die einen entsprechend unterschiedlichen Substrateinsatz nach sich ziehen. Insgesamt werden auf diese Weise vier verschiedene Anlagentypen modelliert, die in der Studie Referenzanlagen genannt werden. Das Abwärmepotenzial dieser Referenzanlagen ist Ausgangspunkt für die in der Studie untersuchten und beschriebenen sechs grundlegenden Techniken zur Abwärmenutzung. Die untersuchten Techniken werden in der Studie als Varianten bezeichnet. Sie sind in der Regel in verschiedene Untervarianten unterteilt. Die Varianten werden unter



den Aspekten der technischen Realisierbarkeit, der Wirtschaftlichkeit und der Energieeffizienz eingehend analysiert.

### **Methodik bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt auf Basis der Annuitätenmethode gemäß *VDI Richtlinie 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen* [VDI, 2000], [VDI, 1988]. Unter Berücksichtigung von Ersatzbeschaffungen und Kostensteigerung werden bei diesem Verfahren einmalige und laufende Zahlungen über einen vom Anwender vorgegebenen Betrachtungszeitraum zusammengefasst. Als Betrachtungszeitraum werden 20 Jahre gewählt. Die folgenden Begriffe werden eingeführt:

#### **Gewinnannuität**

Die Differenz der Summe der jährlichen Einnahmen und der jährlichen Kosten ergibt die Gewinnannuität. Die Gewinnannuität entspricht einem jährlichen Gewinn bzw. bei negativem Vorzeichen einem jährlichen Verlust. In der Studie wird die mittlere Gewinnannuität über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahre unter Berücksichtigung von Kostensteigerungen (dynamisch) berechnet. Für die Anlagen werden 7.500 BHKW-Motor-Vollbenutzungsstunden auf Basis der realen Leistung pro Jahr angenommen.

In den Gewinnannuitäten der Wärmenutzungsvarianten sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante selbst und der KWK-Bonus berücksichtigt. Das bedeutet dass die Gewinnannuität nur auf den Kosten und Einnahmen (inklusive KWK-Bonus) der Wärmenutzungsvariante basieren. Die Gewinnannuität der Biogasanlage, Biogaserzeugung und des Motors wird bei den Varianten nicht berücksichtigt.

Ausgenommen von dieser Betrachtung sind die *Variante 5-Alternative Stromerzeugung und Effizienzsteigerung* mit der Untervariante *effizientes BHKW* und die *Variante 6-Biogasleitung*. Bei diesen beiden Varianten wird jeweils die gesamte Anlage, d. h. einschließlich Biogasanlage und BHKW betrachtet.

#### **Rentabilität**

Zur Beurteilung der Systeme wird eine Rentabilität berechnet.

$$\text{Rentabilität} = \frac{\text{Gewinnannuität}}{\text{Investition (Barwert - Restwert)}} \quad \text{Gleichung 1-1}$$

Die Rentabilität ist ein Maßstab für den Ertrag, den das eingesetzte Kapital erbringt. Als Investition wird der Barwert minus Restwert verwendet. Weitere Details zur Wirtschaftlichkeit finden Sie im Anhang Abschnitt 13.1 und Abschnitt 13.10.

## **1.3 Wie lese ich die Studie?**

Für einen schnellen Überblick sind in den Kapiteln 2 und 3 alle wesentlichen Ergebnisse der Studie zusammengefasst. In den Kapiteln 4 bis 10 sind die untersuchten Wärmenutzungsvarianten ausführlich beschrieben. Neben den technischen Beschreibungen werden in diesen Kapiteln auch die verschiedenen Einflussparameter auf die Wirtschaftlichkeit der Varianten untersucht. Dazu werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Das Kapitel 10 enthält typische Praxisbeispiele bayerischer Anlagen aus denen zwei Biogasanlagen für den Praxistest ausgewählt wurden. Die Abwärmenutzungskonzepte dieser beiden Biogasanlagen werden beschrieben. Das Kapitel 11 enthält Angaben zu den Treibhausgasemissionen der Referenzanlagen. Der Anhang der Studie enthält ergänzende Informationen sowie sämtliche Berechnungs- und Ergebnistabellen für den interessierten Anwender. Der Anhang ist als eigenständiges Dokument abgefasst.

## 2 REFERENZANLAGEN

### 2.1 Beschreibung der Referenzanlagen

Basis für die Referenzanlagen sind Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung von 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub>. Als reale Leistung werden 137 kW<sub>el</sub> bzw. 461 kW<sub>el</sub> ermittelt, da im Realbetrieb in Anlehnung an [FNR, 2004] von einer um 3 % geminderten Leistung ausgegangen werden muss. Diese Minderung berücksichtigt einen verminderten Methangehalt im Biogas gegenüber dem Standard von 60 %, sonstige Abweichungen von den Norm- und Testbedingungen und eine verminderte Leistung durch Abnutzung des BHKW. Die 7.500 Vollbenutzungsstunden beziehen sich auf die reale Leistung.

Als Referenzanlagen für den Vergleich der verschiedenen Varianten werden vier Anlagen definiert:

Referenz	reale Leistung	Abwärmepotenzial	Typ	Substrate	Investition
Anlage 1 Milchvieh 110 GV	137 kW <sub>el</sub> 187 kW <sub>th</sub>	1.136 MWh <sub>th</sub> /a ca. 151 kW <sub>th</sub>	Milchviehbetrieb mit 110 GV	1.757 t <sub>FM</sub> /a Gülle 2.068 t <sub>FM</sub> /a NawaRo	3.700 €/kW <sub>el</sub>
Anlage 2 Ackerbau 50 GV	137 kW <sub>el</sub> 187 kW <sub>th</sub>	1.135 MWh <sub>th</sub> /a ca. 151 kW <sub>th</sub>	Ackerbaubetrieb mit 50 GV	799 t <sub>FM</sub> /a Gülle 2.768 t <sub>FM</sub> /a NawaRo	3.900 €/kW <sub>el</sub>
Anlage 3 Ackerbau 140 GV	461 kW <sub>el</sub> 538 kW <sub>th</sub>	3.338 MWh <sub>th</sub> /a ca. 445 kW <sub>th</sub>	Ackerbaubetrieb mit 140 GV	2.237 t <sub>FM</sub> /a Gülle 8.296 t <sub>FM</sub> /a NawaRo	3.100 €/kW <sub>el</sub>
Anlage 4 reiner Ackerbau	461 kW <sub>el</sub> 538 kW <sub>th</sub>	3.382 MWh <sub>th</sub> /a ca. 451 kW <sub>th</sub>	reiner Ackerbaubetrieb	9.209 t <sub>FM</sub> /a NawaRo	3.100 €/kW <sub>el</sub>

Tabelle 2-1: Referenzanlagen

reale Leistung ... elektrisch und thermisch real erzielbare Leistung

Abwärmepotenzial ... nach Abzug von Gebäude-, Fermenterheizung und Abgasverlusten

Weitere Details finden Sie im Anhang 13.2 Referenzanlagen, Tabelle 13-4 und Tabelle 13-5.

#### **BHKW-Motorwirkungsgrade**

Die in Tabelle 2-2 angegebenen Nennwirkungsgrade entsprechen Hersteller-Durchschnittswerten [ALB, 2004].

	Anlage 1 und 2 150 kW <sub>el</sub>	Anlage 3 und 4 500 kW <sub>el</sub>
Motorbauart	Gas-Otto	Gas-Otto
Wirkungsgrad elektrisch laut Hersteller	36 %	39 %
Wirkungsgrad elektrisch real	33 %	36 %
Wirkungsgrad thermisch laut Hersteller	48 %	45 %
Wirkungsgrad thermisch real	45 %	42 %

Tabelle 2-2: Wirkungsgrade der Motor-BHKW

## Abwärme

Die Abwärme befindet sich auf einem Temperaturniveau von ca. 90 °C. Sind höhere Temperaturen erforderlich, kann die Abgaswärme des BHKW separat ausgekoppelt werden. Der Anteil der Abgaswärme entspricht etwa 45 % der anfallenden Abwärme. Die Abgastemperatur beträgt etwa 450–520 °C und kann auf etwa 120–180 °C abgekühlt werden.

Als Wärmenutzung werden in den Referenzanlagen die Fermenterheizung und die Gebäudeheizung des zugehörigen Betriebs berücksichtigt. Der Nachgärer ist gedämmt ausgeführt. Für die real nutzbare thermische Leistung wurde angenommen, dass das Abgas auf eine Temperatur von etwa 150 °C abgekühlt wird.

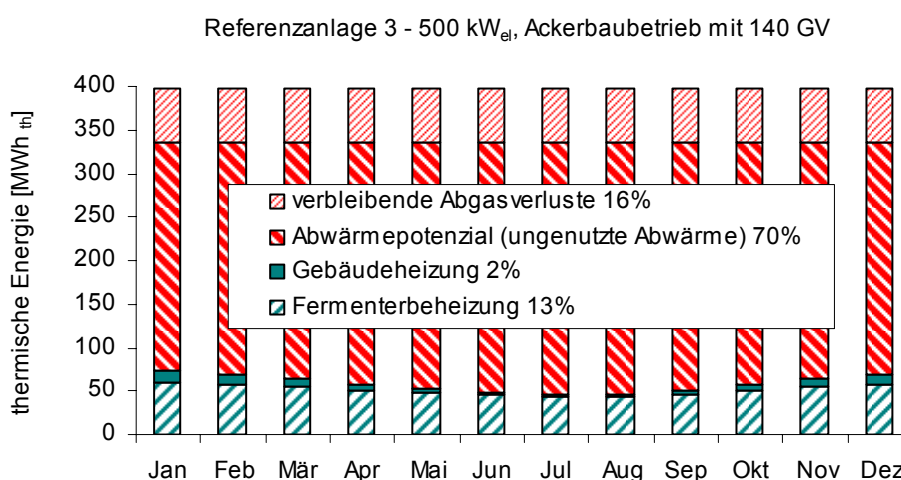


Abbildung 2-1: Nutzung der Abwärme bei Referenzanlage 3

In Abbildung 2-1 ist die Verteilung der thermischen Energie beispielhaft für Anlage 3 dargestellt. Von der gesamten anfallenden Abwärme werden 13 % für die Fermenterbeheizung genutzt, 2–3 % für die Gebäudebeheizung und weitere 70 % stehen für eine weitere Nutzung zur Verfügung (Abwärmepotenzial). Etwa 14–16 % der Abwärme werden auch bei einer optimierten Abwärmennutzung über das Abgas an die Umgebung abgegeben. Weitere Details zur Abwärme finden Sie im Anhang 13.2 Referenzanlagen.

## Substrate

Als Substrate werden Milchviehgülle, Maissilage, Grassilage, Getreide-Ganzpflanzensilage und Triticalekörner, unterschieden nach den landwirtschaftlichen Strukturen eines Milchvieh- und Ackerbaubetriebs in Bayern, eingesetzt.

- Im *Milchviehbetrieb* mit einem typischen Standort z. B. im Allgäu wird überwiegend Gülle und Grassilage eingesetzt.
- Im *Ackerbaubetrieb* mit einem typischen Standort z. B. in Niederbayern wird Maissilage und Getreide mit und ohne Gülle als Nebensubstrat eingesetzt.

Weitere Details zu den Substraten finden Sie im Anhang 13.2 Referenzanlagen Tabelle 13-4 und Tabelle 13-6. Der Trockenmassegehalt wurde nach [LfL, 2004b] bestimmt.

Alle Referenzanlagen verwenden nur Einsatzstoffe, für die nach EEG § 8 Abs. 2, Satz 1 für den erzeugten Strom der *NawaRo-Bonus* des EEG von 6 ct/kWh<sub>el</sub> erstattet wird.

### **Anlagenkonfiguration**

Die Referenzanlagen sind mit einem oberirdischen zylindrischen Fermenter mit Nachgärer ausgeführt, das Endlager ist gasdicht abgedeckt. Die Nutzung des im Endlager entstehenden Methans zur Stromerzeugung erhöht die Ausbeute der Biogasanlage bzw. reduziert den Substratbedarf. Im Detail wird folgende Anlagenkonfiguration angenommen:

Vergärung im mesophilen Temperaturbereich bei 39 °C.
Oberirdischer stehender, zylindrischer und beheizter Fermenter ( $2,5 \text{ kg}_{\text{TM}}/\text{d}\cdot\text{m}^3$ ) mit Nachgärer.
Interne biologische Entschwefelung über kontrollierte Luftzugabe mit Gastrocknung.
Gasspeicherung im Folienspeicher über dem Fermenter für etwa 6 BHKW-Betriebsstunden.
Verlust von 0,1 % des gespeicherten Gases im Folienspeicher (EPDM-Folie) [FNR, 2004].
7.500 Vollbenutzungsstunden für die BHKW-Nutzung.
7 Tage pro Jahr Betriebsunterbrechung des BHKWs für Wartung mit Abfackelung des Biogases.
Notfackel zur methanarmen Freisetzung von Biogas.
Gasdichter Nachgärer mit Anschluss an die Gasverwertung im Motor.
Gasdichte Abdeckung des Gärsubstratendlagers mit Anschluss an die Gasverwertung im Motor.
Gas-Otto-Motor BHKW.

Tabelle 2-3: Anlagenkonfiguration der Referenzanlagen

Biogasanlagen werden häufig technisch anders ausgeführt z. B. als liegender Fermenter mit anschließendem stehendem Nachgärbehälter. Eine solche Variante wird hier nicht gewählt, da sie nicht zwingend ist und eine Optimierung der Biogaserzeugung nicht Gegenstand dieser Studie ist. Komponenten und Prozesswerte werden daher nur überschlägig erfasst. Die genaue Prozessführung ist für den Vergleich der Wärmenutzungsvarianten von untergeordneter Bedeutung.

### **Eigenleistung, Anlagenbetrieb und Genehmigung**

Bei allen Anlagen werden die Kosten der Eigenleistungen des Landwirts berücksichtigt. Bei der Anlagengröße von  $500 \text{ kW}_{\text{el}}$  beträgt die Feuerungswärmeleistung mehr als ein Megawatt, sodass diese Anlagen nach 4. BImSchV immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftig sind.

## 2.2 Wirtschaftlichkeit der Referenzanlagen

Für die Investitionskosten werden die spezifische Kosten nach Tabelle 2-4 angesetzt. Die Kostenansätze für den Anlagenbetrieb und die Erlössituation der Referenzanlagen sind im Abschnitt 13.1 im Anhang dargestellt.

Parameter	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Investitionskosten	3.700/3.900 €/kW <sub>el</sub>	3.100 €/kW <sub>el</sub>

Tabelle 2-4: Investitionskosten der Referenzanlagen [KTBL, 2005]

Bei der Berechnung steigen die Gutschriften für das substituierte Heizöl und den Düngerwert sowie die Kosten entsprechend der angenommenen Preissteigerungen (siehe Anhang Abschnitt 13.1.2). Die Stromvergütung und der KWK-Bonus sind für 20 Jahre gemäß EEG gleich bleibend. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Referenzanlagen ergibt die in Abbildung 2-2 dargestellten Gewinnannuitäten. Dargestellt ist die Berechnung mit Preissteigerungen und ohne Preissteigerungen.

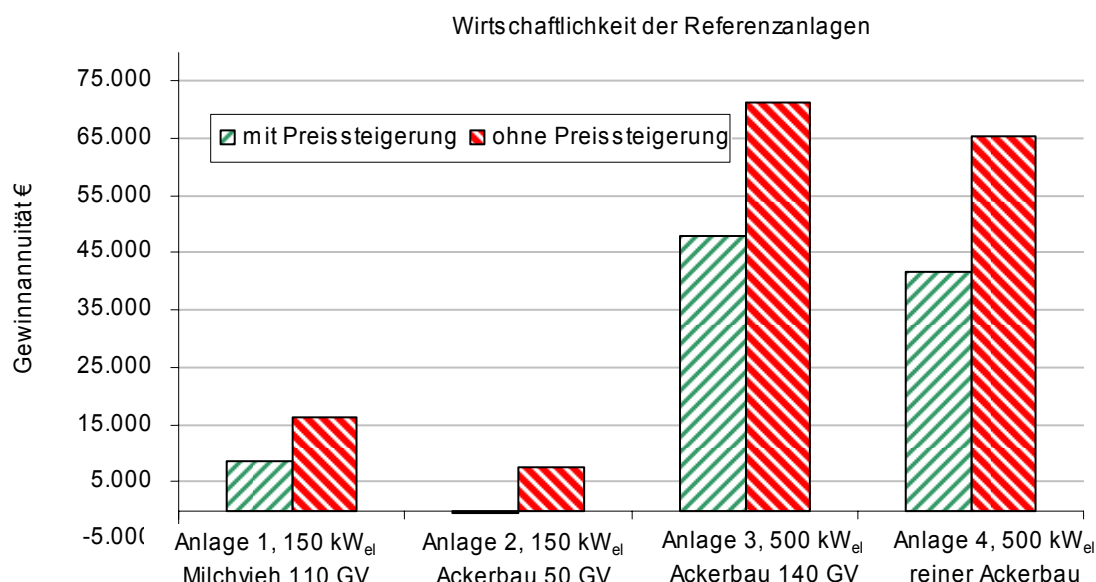


Abbildung 2-2: Gewinnannuität der Referenzanlagen

Die Referenzanlagen der Leistungsklasse 150 kW<sub>el</sub> erzielen eine niedrige bzw. Anlage 2 sogar eine negative Gewinnannuität. Anlage 1 ist aufgrund der etwas geringeren Investitionen und der günstigeren Substratkosten durch den höheren Gülleeinsatz positiv. Nur bei Betrachtung ohne Preissteigerung erreicht Anlage 2 ein kleines Gewinnergebnis. Der Betrieb der 500 kW<sub>el</sub> Anlagen erzielt auch bei Berücksichtigung der Preissteigerung eine positive Gewinnannuität. Bei Anlage 4 wirkt sich der hohe Arbeitsaufwand für die Maissilagehandhabung ertragsreduzierend aus. Die **Rentabilität** der Referenzanlagen beträgt mit Preissteigerung für die einzelnen Anlagen:

- Anlage 1      1,4 %
- Anlage 2      -0,1 %
- Anlage 3      2,9 %
- Anlage 4      2,6 %

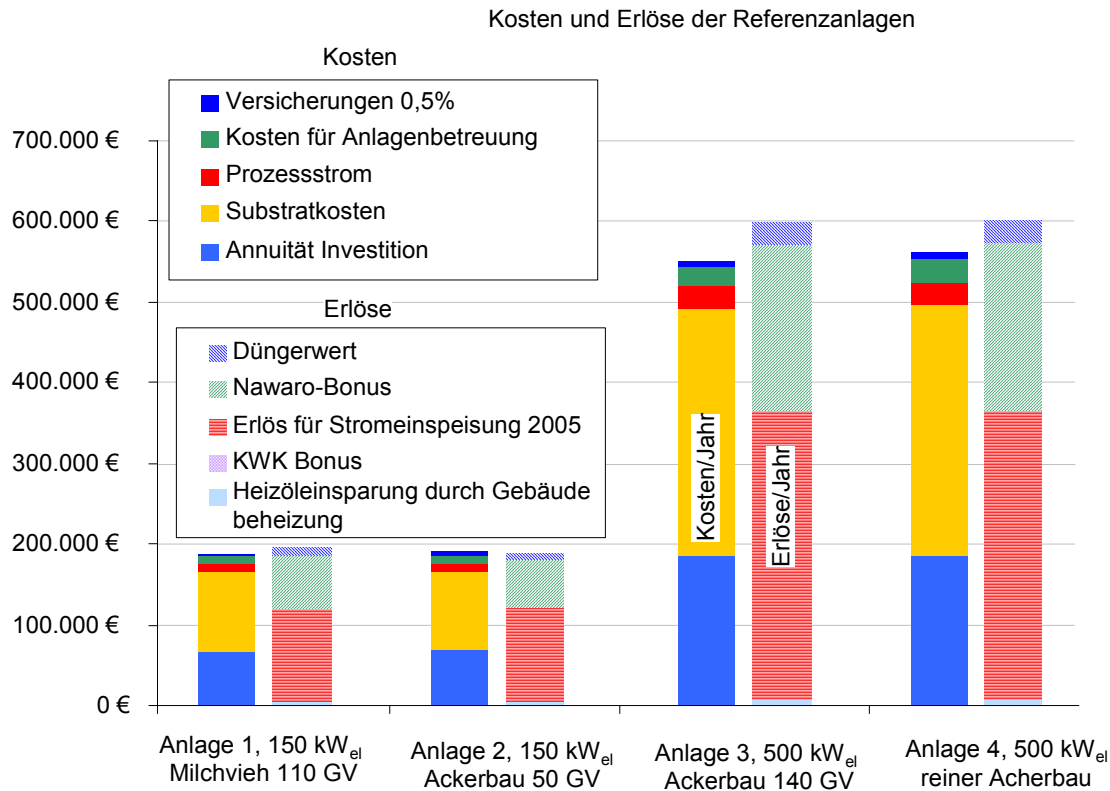


Abbildung 2-3: Aufteilung der jährlichen Kosten und Einnahmen für die Referenzanlagen

Lesebeispiel:

Der linke Balken zeigt jeweils die Kosten pro Jahr, der rechte Balken zeigt die Erlöse pro Jahr.

Die Substratkosten verursachen gefolgt von den Investitionen die höchsten Kosten. Dem stehen die Einnahmen aus Stromvergütung und NawaRo-Bonus gegenüber. Der NawaRo-Bonus kann ca. 65 % der anfallenden Substratkosten decken.

Die **Stromgestehungskosten** auf Basis der Kosten und ohne Berücksichtigung von sonstigen Erlösen und Gutschriften betragen für die einzelnen Anlagen:

- Anlage 1      18 ct/kWh<sub>el</sub>
- Anlage 2      19 ct/kWh<sub>el</sub>
- Anlage 3      16 ct/kWh<sub>el</sub>
- Anlage 4      16 ct/kWh<sub>el</sub>

Das kritische Betriebsergebnis der Referenzanlagen, insbesondere für die kleine Anlagengröße, wird durch eine kürzlich veröffentlichte Untersuchung zur Bioenergienutzung in Deutschland im Wesentlichen bestätigt [WInst, 2005].

Die Einflüsse verschiedener Parameter auf die Gewinnannuität der Referenzanlagen sind in der folgenden **Sensitivitätsanalyse** dargestellt. Dazu werden die **Parameter Zins, Lohn, Investitionskosten, Substratkosten, Motorlaufzeit, Gasausbeute und Wirkungsgrad** ausgehend von den Ausgangswerten variiert. Die festgesetzten Preissteigerungen für den jeweiligen Parameterwert werden berücksichtigt.

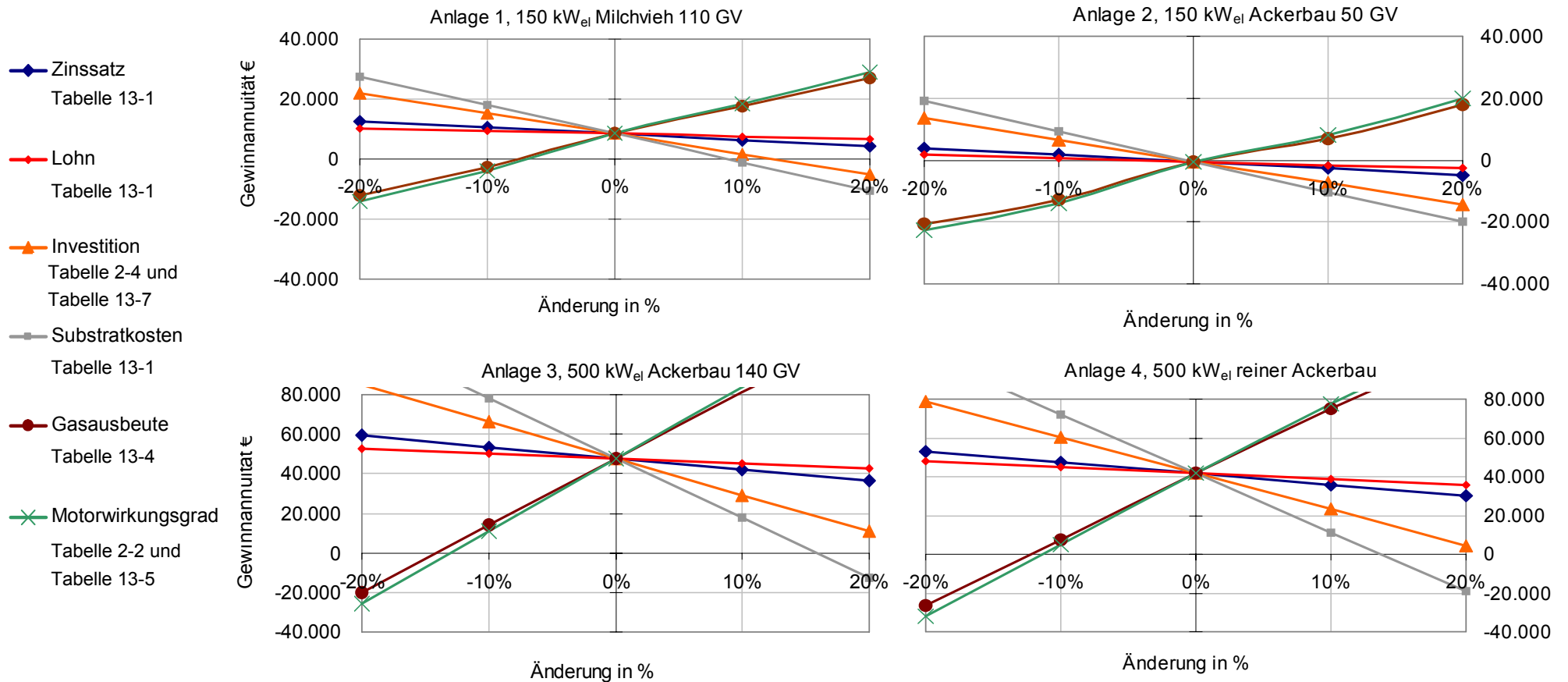


Abbildung 2-4: Sensitivität der Gewinnannuität der Referenzanlagen 1 bis 4 auf verschiedene Parameter.

Lesebeispiel:

Anlage 3: Bei 0 % ist der Ausgangszustand für die betrachteten Referenzanlagen abzulesen. Die Gewinnannuität beträgt etwa 48.000 €. Bei Änderung der Substratkosten um +10 % reduziert sich die Gewinnannuität auf 20.000 €. Eine Änderung um -10 % erhöht die Gewinnannuität auf etwa 80.000 €.

Einem erheblichen Einfluss auf die Gewinnannuität haben die Parameter Motorwirkungsgrad, Gasausbeute und Substratkosten. Etwas geringer ist der Einfluss der Investitionskosten auf die Gewinnannuität. Einen vergleichsweise geringen Einfluss haben Zinssatz und Lohnkosten. Bei größeren Anlagen besteht das größere Potenzial, durch eine technische Optimierung und durch günstigere Substratbezugskosten ein positiveres Ergebnis zu erreichen.

### 3 SECHS VARIANTEN DER ABWÄRMENUTZUNG UND ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

#### 3.1 Sechs Varianten der Abwärmenutzung

Ausgehend von den vier Referenzanlagen werden sechs über die übliche Fermenter- und Gebäudebeheizung hinausgehende Varianten der Abwärmenutzung untersucht. Ausgegangen wird von kleineren und mittleren Biogasanlagen mit einer elektrischen Leistung von 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub>. Als Substrate werden Milchviehgülle, Grassilage, Maissilage, Ganzpflanzensilage und Triticale eingesetzt. Die Substrate sind typisch für einen Milchvieh- und Ackerbaubetrieb in Bayern. Abbildung 3-1 gibt einen Überblick über die untersuchten Varianten.

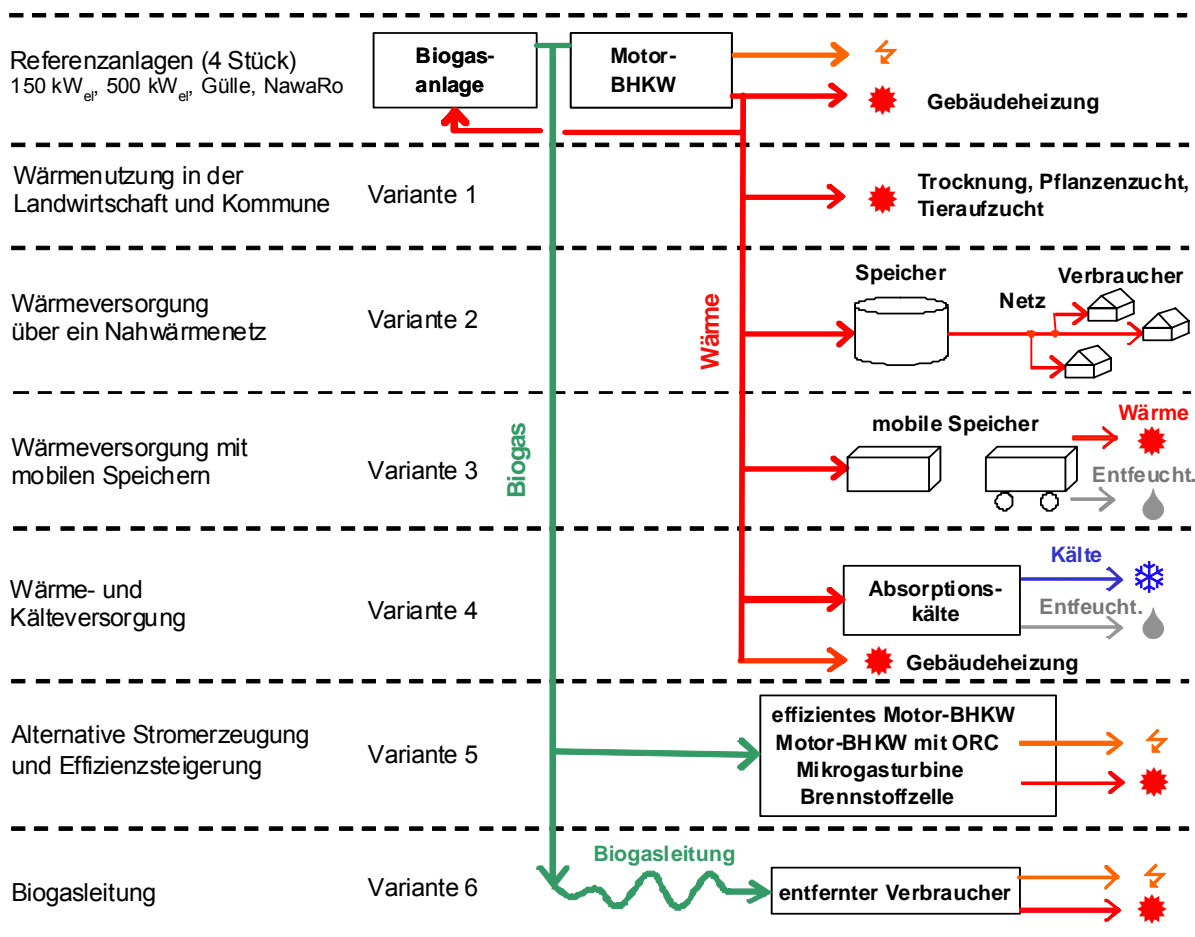


Abbildung 3-1: Die untersuchten sechs Varianten der Abwärmenutzung

Die Varianten 1 bis 4 basieren auf der vorhandenen BHKW-Technik und zeigen erweiterte Wärmeeutzungsmöglichkeiten auf. Beispiele sind die Trocknung land- oder forstwirtschaftlicher Güter, die Gewächshausbeheizung, die Tieraufzucht und die Wärme- und Kälteversorgung von Verbrauchern über Nahwärmenetze oder mobile Speicher. Die Variante 5 beschreibt erweiterte Techniken zur Stromerzeugung, wie die Abwärmeverstromung mit der ORC-Technik oder Techniken wie der Einsatz von Mikrogas-



turbinen oder Brennstoffzellen. Die Variante 6 untersucht die Möglichkeit, durch die Verlegung einer Niederdruck-Biogasleitung ein BHKW am Ort eines benachbarten Wärmeverbrauchers zu betreiben.

#### **Wärmenutzung in der Landwirtschaft und Kommune–Variante 1**

- Trocknung von land- oder forstwirtschaftlichen Produktionsgütern
  - Holzhackschnitzel mit Container- od. Satzrockner nur bei der 150 kW<sub>el</sub> Anlage
  - Holzhackschnitzel mit Schubwendetrockner nur bei der 500 kW<sub>el</sub> Anlage
  - Getreide mit Dächerschachttrockner
  - Getreide mit Wagentrockner
  - Getreide mit Schubwendetrockner nur bei der 500 kW<sub>el</sub> Anlage
  - Heil- und Gewürzpflanzen mit Bandrockner
- Trocknung von Klärschlamm in landwirtschaftlichen oder kommunalen Anlagen
  - Klärschlamm mit Warmluft-Hallentrockner bei beiden Anlagengrößen
  - Klärschlamm mit Bandrockner bei beiden Anlagengrößen
- Beheizung einer Ferkelaufzucht
- Beheizung eines Gewächshauses

#### **Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz–Variante 2**

- Wärmeversorgung von Wärmeabnehmer mit einem Nahwärmenetz inkl. Kurzzeit-Pufferspeicher
  - Wärmeversorgung mit einem Nahwärmenetz und einem saisonal wirkenden Erdsondenspeicher
- Die Größe des Nahwärmenetzes wird jeweils an die Wärmeleistung der Biogasanlagen angepasst.

#### **Wärmeversorgung mit mobilen Speichern–Variante 3**

- Versorgung von Wärmeabnehmer über mobile Wärmespeicher, die per LKW geliefert werden
- Die Wärmespeicherung erfolgt durch Schmelzen und Erstarren eines Salzhydrats (Latentwärmespeicher) oder durch thermochemische Ad- und Desorption an festem Zeolith (Zeolithspeicher).
- Zeolithspeicher heizen
  - Zeolithspeicher heizen und trocknen
  - Zeolithspeicher klimatisieren
  - Latentwärmespeicher NaAc nach System Transheat
  - Latentwärmespeicher NaAc nach System Schneider

#### **Wärme- und Kälteversorgung–Variante 4**

- Versorgung von Gebäuden oder Produktionsstätten mit Kälte und Heizwärme.
- Die Kälte wird mit LiBr-Absorptionskältemaschinen bereitgestellt.
- Wärme- und Kälteversorgung für 1 *Gewerbeobjekt* 2.000 m<sup>2</sup> / 5.000 m<sup>2</sup>, Grundlast
  - Wärme- und Kälteversorgung für 2 *Gewerbeobjekt* 1.000 m<sup>2</sup> / 2.500 m<sup>2</sup>, Vollversorgung
  - Wärme- und Kälteversorgung für 3 *Molkerei*, Vollversorgung
  - Wärme- und Kälteversorgung für 4 *Lagerhaus*, Vollversorgung
  - Wärme- und Kälteversorgung für 5 *Gewerbeobjekt* 3.500 m<sup>2</sup>, Vollversorgung nur 500 kW<sub>el</sub> Anlage

### **Alternative Stromerzeugung und Effizienzsteigerung–Variante 5**

- Effizienteres Motor-BHKW
- Motor-BHKW mit ORC-Nachverstromung (Organic Rankine Cycle Prozess)
- Mikrogasturbinen
- Brennstoffzellen

Zweistufige Systeme wie Motor und ORC zur Stromerzeugung oder Mikrogasturbinen können die anfallende Abwärme (ORC) und Emissionen (Mikrogasturbine) reduzieren. Die Abwärme kann mit Mikrogasturbinen auf einem höheren Temperaturniveau zur industriellen Nutzung bereitgestellt werden.

Der Zündstrahlmotor wird in Abschnitt 8.2 behandelt. Da bei der Variante Zündstrahlmotor jedoch keine Abwärmenutzung erfolgt, wird dieser in den Zusammenfassungen nicht aufgeführt.

Aufgrund unsicherer Kosten und des nicht vollständig kommerzialisierten Entwicklungsstands wird für die Mikrogasturbine und die Brennstoffzelle keine Wirtschaftlichkeit berechnet.

### **Biogasleitung–Variante 6**

- Verlegung einer Biogasleitung und Stromerzeugung mittels Motor-BHKW beim Wärmeverbraucher.

Durch das Verlegen einer Niederdruck-Biogasleitung wird das Blockheizkraftwerk am Ort des Wärmeverbrauchers betrieben.

Durch eine Niederdruck-Biogasleitung wird eine Installation des Motor-BHKWs an einen Ort möglich, an dem die Abwärme als Grundlast ganzjährig abgenommen wird. Für die Fermenterheizung ist eine neue Wärmequelle, z. B. Holzhackschnitzelheizung oder ein kleines zweites BHKW erforderlich.

## 3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

### 3.2.1 Wirtschaftlichkeit

#### **Referenzanlage**

Für die Referenzanlagen wurden die Strom- und Wärmeproduktion bei Verwendung eines konventionellen Biogas-Motor-BHKW ermittelt und eine Wärmenutzung nur für den Biogasprozess und das landwirtschaftlichen Anwesen angenommen. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung der Referenzanlagen zeigen, dass bei allen Anlagen mit überwiegendem Einsatz teurer Substrate, wie NawaRo-Produkte (Nachwachsende Rohstoffe im Sinne des Erneuerbare-Energien-Gesetz), ein Wärmeverkauf erforderlich oder empfehlenswert ist. Das trifft insbesondere für die 150 kW<sub>el</sub> Anlagen zu, da die Gewinne bei diesen Anlagen, falls überhaupt realisierbar, sehr gering sind.

#### **Wärmenutzung in der Landwirtschaft und Kommune–Variante 1**

Neben der *Trocknung landwirtschaftlicher Produkte* wie *Hackgut*, *Scheitholz*, *Getreide* sowie von *Heil- und Gewürzpflanzen* wurde die Wärmelieferung für eine *Ferkelaufzucht* und angrenzende *Gewächshäuser* betrachtet. Die Klärschlamm-trocknung kann für landwirtschaftliche Biogasanlagen ab 500 kW<sub>el</sub> interessant sein.

Die Trocknung von Getreide und Hackschnitzeln birgt bei moderaten Investitionskosten ein erhebliches Nutzungspotenzial mit günstiger Wirtschaftlichkeit und vergleichsweise geringem Risiko. Sie ist gut auch für kleinere Anlagen geeignet und eventuell in Ihrer Anwendung einfach kombinierbar. Eine Durchsatzsteigerung im Vergleich zu den angenommenen Werten ist möglich.

Aufgrund der geringen Nutzungsdauer über das Jahr und den sehr hohen Investitionskosten sind Trocknungsanlagen für Heil- und Gewürzpflanzen ebenso wie die *Klärschlamm-trocknung* nur für 500 kW<sub>el</sub> Anlagen oder noch größere Anlagen geeignet. Die Klärschlamm-trocknung eröffnet ein hohes Wärmenutzungspotenzial, erfordert aber auch erhebliche Investitionen.

Aufgrund der hohen Wärmeabnahme ist ein Gewächshaus ein idealer Wärmeabnehmer. Stallungen haben einen sehr begrenzten Wärmebedarf, sodass in der Regel noch Abwärme für weitere Anwendungen verfügbar ist. Beide Varianten erfordern ein überschaubares Investitionsvolumen.

#### **Nahwärmeversorgung über ein Nahwärmenetz–Variante 2**

Die Wärmeversorgung einer Neubausiedlung über ein Nahwärmenetz wurde unter Einbindung eines *Kurzzeit-Pufferspeichers* und alternativ unter Einbindung eines *saisonalen Erdwärmesondenspeichers* untersucht. Die Größe des Nahwärmenetzes wurde an die Wärmeleistung der Biogasanlagen angepasst.

Der saisonale Wärmespeicher ermöglicht eine hohe Wärmeausnutzung, die doppelt so hoch ist im Vergleich zum Nahwärmenetz mit Kurzzeit-Pufferspeicher. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass in beiden Fällen eine Vollversorgung der Abnehmer mit der Biogas-Abwärme angenommen wird. Bei Integration in ein größeres Netz mit anderweitiger Spitzenlastdeckung ist eine deutliche Steigerung der Abwärmenutzung möglich.

Mit der verfügbaren Abwärmeleistung der 150 kW<sub>el</sub> bzw. 500 kW<sub>el</sub> Anlage lassen sich mit einem Kurzzeit-Pufferspeicher 20 bzw. 57 neue Einfamilienhäuser versorgen. Mit einem saisonalen Speicher steigt die

Zahl auf 48 bzw. 135 neue Einfamilienhäuser. Die angenommenen Trassenlängen betragen jeweils 600 bzw. 1.800 Meter.

Systeme mit saisonalem Speicher sind nur für Anlagen mit 500 kW<sub>el</sub> oder darüber wirtschaftlich realisierbar. Systeme mit Kurzzeit-Pufferspeicher zeigen in beiden Fällen einen höheren Gewinn bei geringerem Risiko.

Ab Wärmeerlösen größer 45 €/MWh sind - abhängig von der Anschlussdichte (hier etwa 1 MWh/m<sup>2</sup>a) - Nahwärmenetze wirtschaftlich realisierbar. Bei allen Nahwärmevarianten wird angenommen, daß die Kosten für Hausübergabestationen als Anschlussgebühr (Erlös) vom Abnehmer übernommen werden.

### **Wärmeversorgung mit mobilen Speichern–Variante 3**

Untersucht wurde die Lieferung von Wärme über das Straßennetz in mobilen Speichern an einen ganzjährigen Wärmeabnehmer. Die Speicherung erfolgt durch Schmelzen und Erstarren eines Salzhydrats in Containern oder durch thermochemische Speicherung durch Adsorption an einem festen Zeolith.

Bei einem angenommenen Wärmeerlös von 45 €/MWh ist diese Variante für die 500 kW<sub>el</sub> Biogasanlagen bei einer Entfernung bis 10 km zum Wärmeabnehmer eine Alternative zur leitungsgebundenen Wärmeverteilung. Bei 150 kW<sub>el</sub> Anlagen kann keine Wirtschaftlichkeit erreicht werden. Mit Latentwärmespeichern kann Heizwärme und bei der Anwendung von Zeolithen zusätzlich trockene und warme Luft bereitgestellt werden.

Interessante Abnehmer sind beispielsweise Hallenbäder (Entfeuchtung, Heizung) und Trocknungsanlagen. Derzeit gibt es kaum ausgereifte Angebote am Markt und wenige Praxisbeispiele für dieses System.

### **Wärme- und Kälteversorgung–Variante 4**

Die Grundlastbereitstellung von Klimakälte (Gebäudekühlung) mit LiBr-Absorptionskältemaschinen und die Versorgung eines molkereiähnlichen Betriebes mit einem hohen Kälte- und Wärmebedarf ergeben gute wirtschaftliche Ergebnisse. Vollversorgungssysteme für Kälte und Heizwärme zeigen ein deutlich schlechteres Ergebnis.

Eine gleichzeitige Wärmeversorgung des Objekts wurde in allen Fällen vorausgesetzt, da sich nur mit einem ganzjährigen Wärmeabsatz die Investitionen in die Wärmeleitungen und die Kältetechnik (Absorptionskältemaschinen) lohnen.

### **Alternative Stromerzeugung und Effizienzsteigerung–Variante 5**

Durch den Einsatz von *Zündstrahlmotoren* bei den 150 kW<sub>el</sub> Anlage ist eine Wirkungsgradsteigerung von 3 %-Punkten möglich. Dadurch entstehen jährliche Mehreinnahmen von 15.000 € im Vergleich zum Gas-Otto-Motor. Bei 500 kW<sub>el</sub> sind auch mit Gas-Otto-Motoren bereits sehr gute elektrische Wirkungsgrade erzielbar.

Die Abwärmeverstromung mit kleinen *Organic-Rankine-Cycle Anlagen (ORC)* bietet sich derzeit nur für 500 kW<sub>el</sub> Biogasanlagen an. Je nach Vergütungsfall kann ein nennenswerter Beitrag zur Verbesserung der Gesamtwirtschaftlichkeit der Biogasanlage erzielt werden, insbesondere dann, wenn der KWK-Bonus gewährt wird. Allerdings ist das in diesem speziellen Fall nicht eindeutig gewährleistet. Die folgenden Vergütungsvarianten nach EEG wurden betrachtet. Weitere Einzelheiten siehe Abschnitt 8.2, Tabelle 8-2.

- Einspeisevergütung und Technologiebonus für Strom aus ORC (Vergütungsmodell 1)
- Einspeisevergütung und Technologiebonus für Strom aus BHKW und ORC (Vergütungsmodell 2)
- Einspeisevergütung und KWK-Bonus für Strom aus BHKW und Technologiebonus für Strom aus ORC (Vergütungsmodell 3)

*Mikrogasturbinen* können bei Nutzung von Hochtemperaturtrocknung, Beheizung und Kühlung mit Absorptionskältemaschinen sowie bei erhöhten emissionstechnischen Anforderungen, wie der direkten CO<sub>2</sub>-Düngung von Gemüse in Glashäusern mit dem Abgasstrom sinnvoll sein. Der elektrische Wirkungsgrad ist jedoch geringer und das Angebot für 500 kW<sub>el</sub> derzeit nicht vorhanden. Nutzbare Gasturbinen haben eine Leistung von 60 bis 100 kW<sub>el</sub>.

*Brennstoffzellen* werden in ersten Labor- bzw. Pilotanlagen mit elektrischen Wirkungsgraden bis etwa 45 % eingesetzt. Nur unter der Voraussetzung, dass die Systemkosten für Brennstoffzellen sinken und ausreichende Standzeiten erreicht werden, können sich diese mittelfristig zu einer wirtschaftlichen Alternative entwickeln. Derzeit sind Investitionskosten hoch und real erreichbare Wirkungsgrade und Standzeiten der Systeme zu gering. Aufgrund unsicherer Kosten und des Entwicklungsstandes wurde für die Mikrogasturbine und die Brennstoffzelle keine Wirtschaftlichkeit berechnet.

### **Biogasleitung–Variante 6**

Durch eine Niederdruck-Biogasleitung wird eine Installation des Motor-BHKWs an einen Ort möglich, an dem die Abwärme ganzjährig abgenommen wird. Bei Leitungslängen bis etwa 1,5 km ist das für die 150 kW<sub>el</sub> Anlage möglich. Bei der 500 kW<sub>el</sub> Anlage sind sogar größere Entfernungen wirtschaftlich möglich. Für die Fermenterheizung ist eine neue Wärmequelle erforderlich. Eine kleine Hackschnitzelfeuerung oder ein zweites kleineres BHKW können dazu wirtschaftlich eingesetzt werden.

### **Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Überblick**

Die erforderlichen Investitionen, die jährlichen Gewinnannuitäten und die Rentabilität der einzelnen Wärmenutzungsvarianten sind vergleichend in den folgenden Abbildungen dargestellt. Die für die Referenzanlagen ermittelten Daten berücksichtigen die Kosten für die Biogasanlage, die Fermenterbeheizung und die Gebäudebeheizung des landwirtschaftlichen Betriebes. Für die betrachteten Wärmenutzungsvarianten beziehen sich die in Abbildung 3-2 bis Abbildung 3-4 dargestellten Daten ausschließlich auf die Investitionskosten für die Wärmenutzung (ohne Biogasanlage, ohne Fermenterbeheizung und ohne die Gebäudebeheizung des landwirtschaftlichen Betriebes).

In Abbildung 3-5 sind jeweils die Investitionskosten der Gesamtanlage (Biogasanlage und Wärmenutzung) bezogen auf eine Tonne eingesparte CO<sub>2</sub>-Äquivalente dargestellt. Die zugehörigen Zahlenwerte finden Sie jeweils in Abschnitt 13.10 im Anhang.

Die Rentabilitätsbetrachtungen der Wärmenutzungsvarianten zeigen, dass Investitionen in eine zusätzliche Wärmenutzung häufig sehr viel rentabler sind als die Investitionen in die Biogasanlage selbst. Damit kann die Rentabilität einer Biogasanlage bei der Verwirklichung einer geeigneten Wärmenutzungsstrategie erheblich verbessert werden.

Gleichermaßen interessante Wärmenutzungsmöglichkeiten für die kleineren und die größeren Anlagen sind insbesondere die Trocknung von land- bzw. forstwirtschaftlichen Gütern, wie Getreide und Holzhackschnitzel und die Gewächshausbeheizung. Die Gewächshausbeheizung zeigt im Hinblick auf die spezifischen Investitionskosten bezogen auf eine Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalente ähnlich günstige Werte wie die Wärme- und Kälteversorgung eines Gewerbeobjektes im Grundlastbereich bzw. der Wärme- und Kälteversorgung einer Molkerei.

Keine wirtschaftliche Darstellbarkeit ergibt sich derzeit für die Anlagen im Leistungsbereich von 150 kW<sub>el</sub> bei der Klärschlamm-trocknung, im Bereich der Heil- und Gewürzpflanzentrocknung und im Bereich der mobilen Wärmespeicherung.

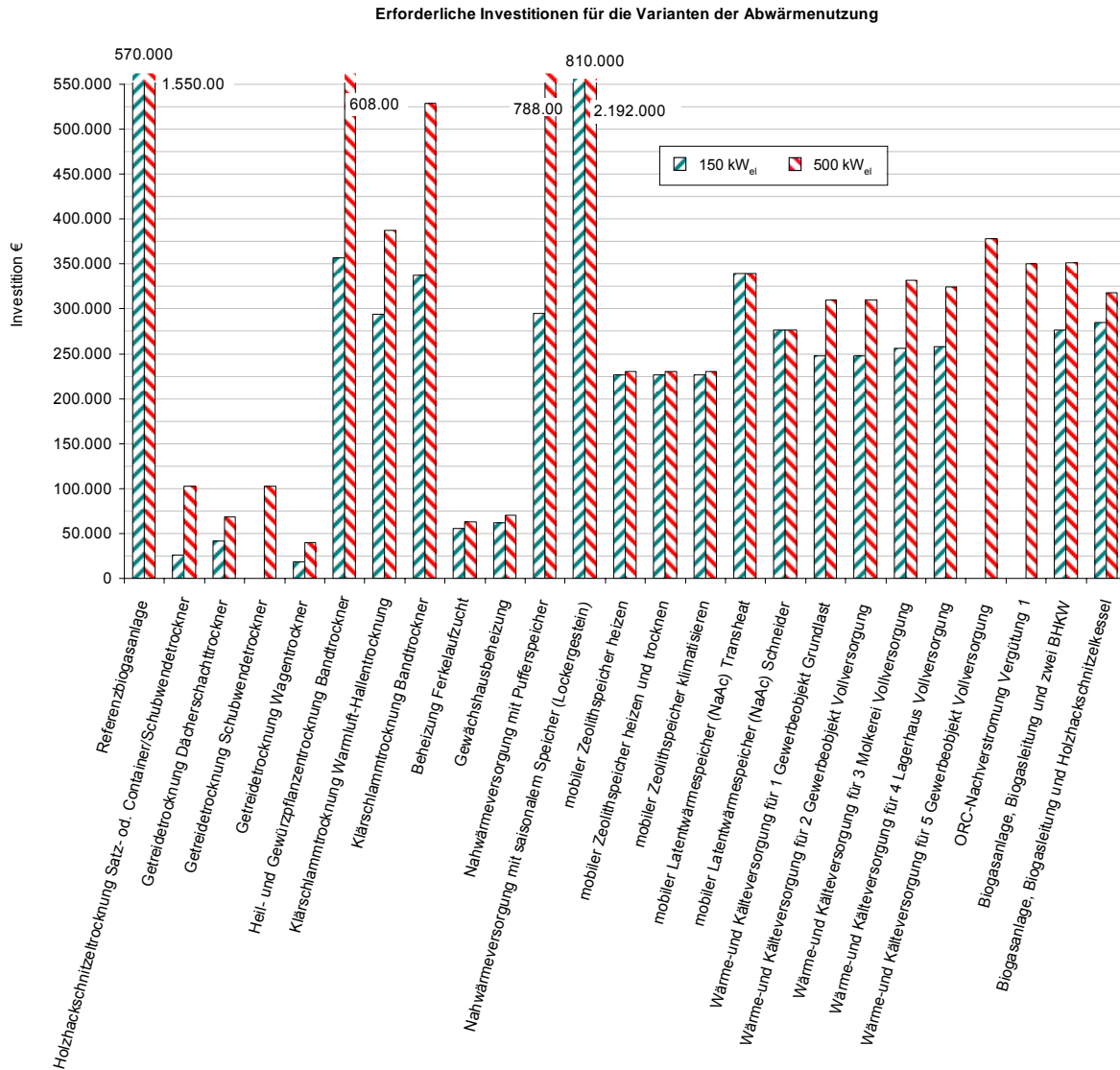


Abbildung 3-2: Investitionen für die Abwärmenutzungsvarianten im Vergleich. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlagen.

Die für die Referenzanlage ermittelten Daten berücksichtigen die Kosten für die Biogasanlage, die Fermenterbeheizung und die Gebäudebeheizung des landwirtschaftlichen Betriebes. Für die betrachteten Wärmenutzungsvarianten beziehen sich die Daten ausschließlich auf die Investitionskosten für die Wärmenutzung (ohne Biogasanlage, ohne Fermenterbeheizung und ohne die Gebäudebeheizung des landwirtschaftlichen Betriebes). Die Werte finden Sie im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-83.

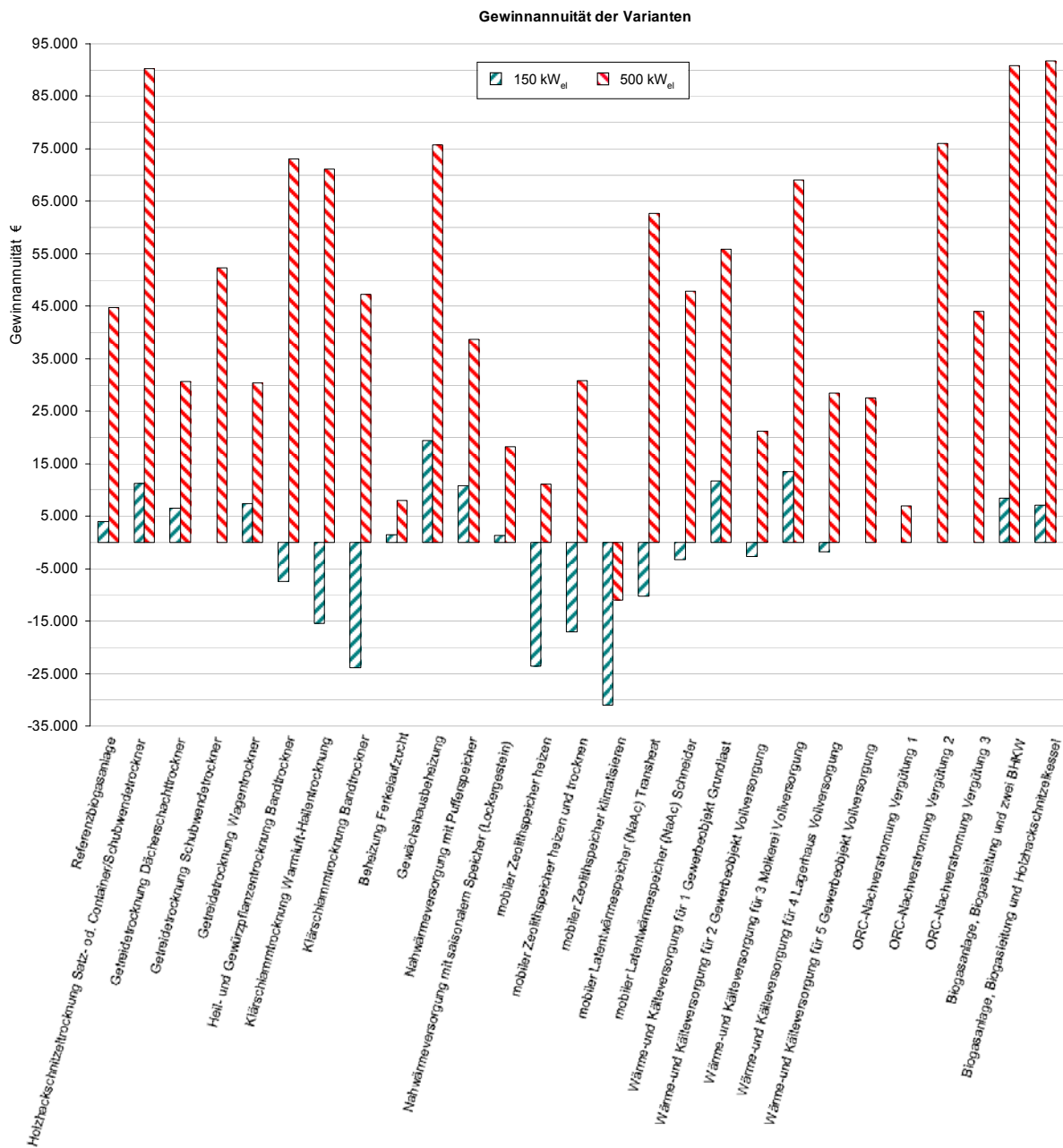


Abbildung 3-3: Gewinnannuitäten für die Varianten im Vergleich. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlagen.

Die für die Referenzanlage ermittelten Daten berücksichtigen die Kosten für die Biogasanlage, die Fermenterbeheizung und die Gebäudebeheizung des landwirtschaftlichen Betriebes. Für die betrachteten Wärmenutzungsvarianten beziehen sich die Daten ausschließlich auf die Investitionskosten für die Wärmenutzung (ohne Biogasanlage, ohne Fermenterbeheizung und ohne die Gebäudebeheizung des landwirtschaftlichen Betriebes). Die Werte finden Sie im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-83.

3 Sechs Varianten der Abwärmenutzung und Zusammenfassung der Ergebnisse

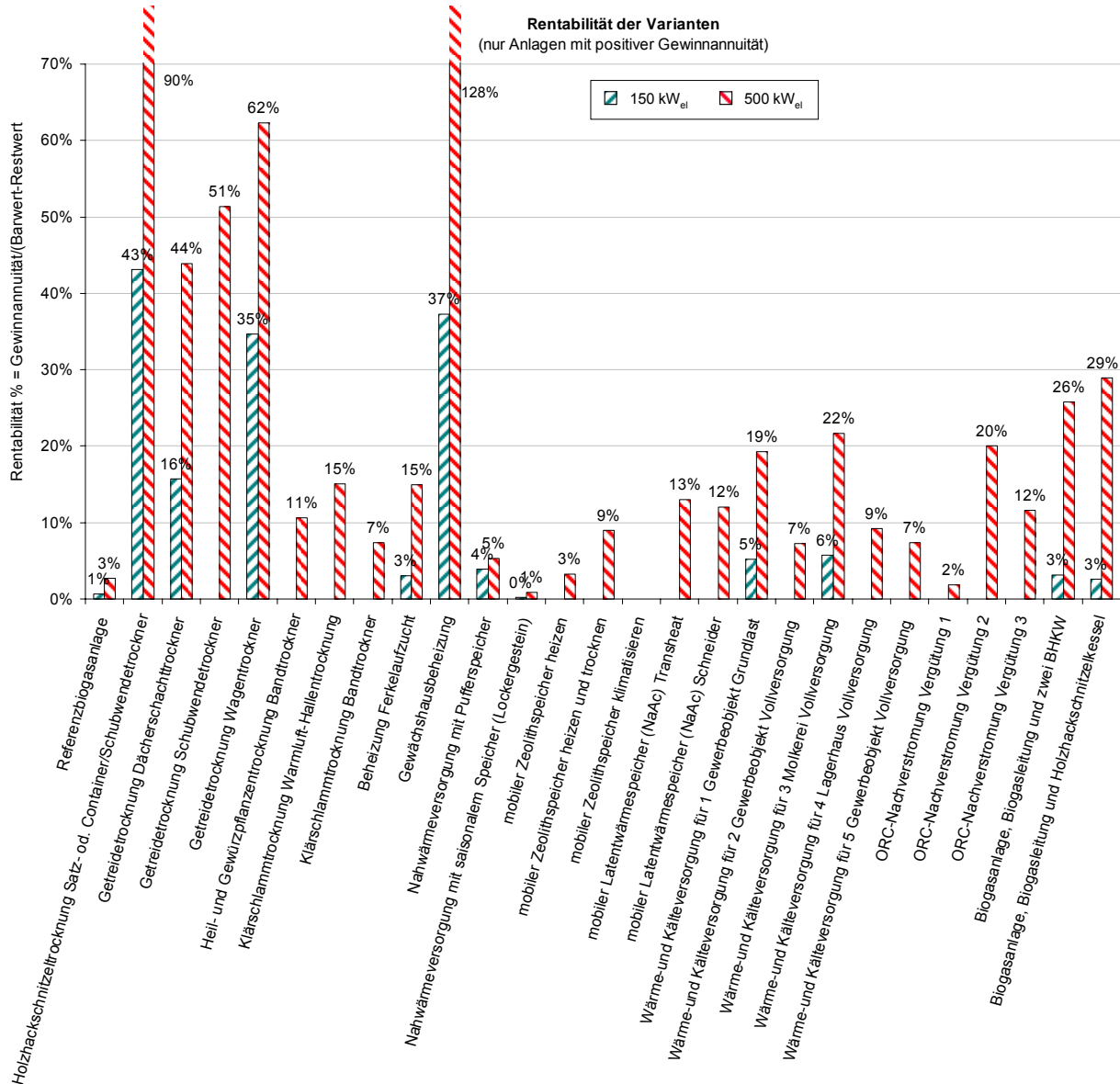


Abbildung 3-4: Rentabilität für die Abwärmenutzungsvarianten im Vergleich. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlagen.

Die für die Referenzanlage ermittelten Daten berücksichtigen die Kosten für die Biogasanlage, die Fermenterbeheizung und die Gebäudebeheizung des landwirtschaftlichen Betriebes. Für die betrachteten Wärmenutzungsvarianten beziehen sich die Daten ausschließlich auf die Investitionskosten für die Wärmenutzung (ohne Biogasanlage, ohne Fermenterbeheizung und ohne die Gebäudebeheizung des landwirtschaftlichen Betriebes). Die Werte finden Sie im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-83.



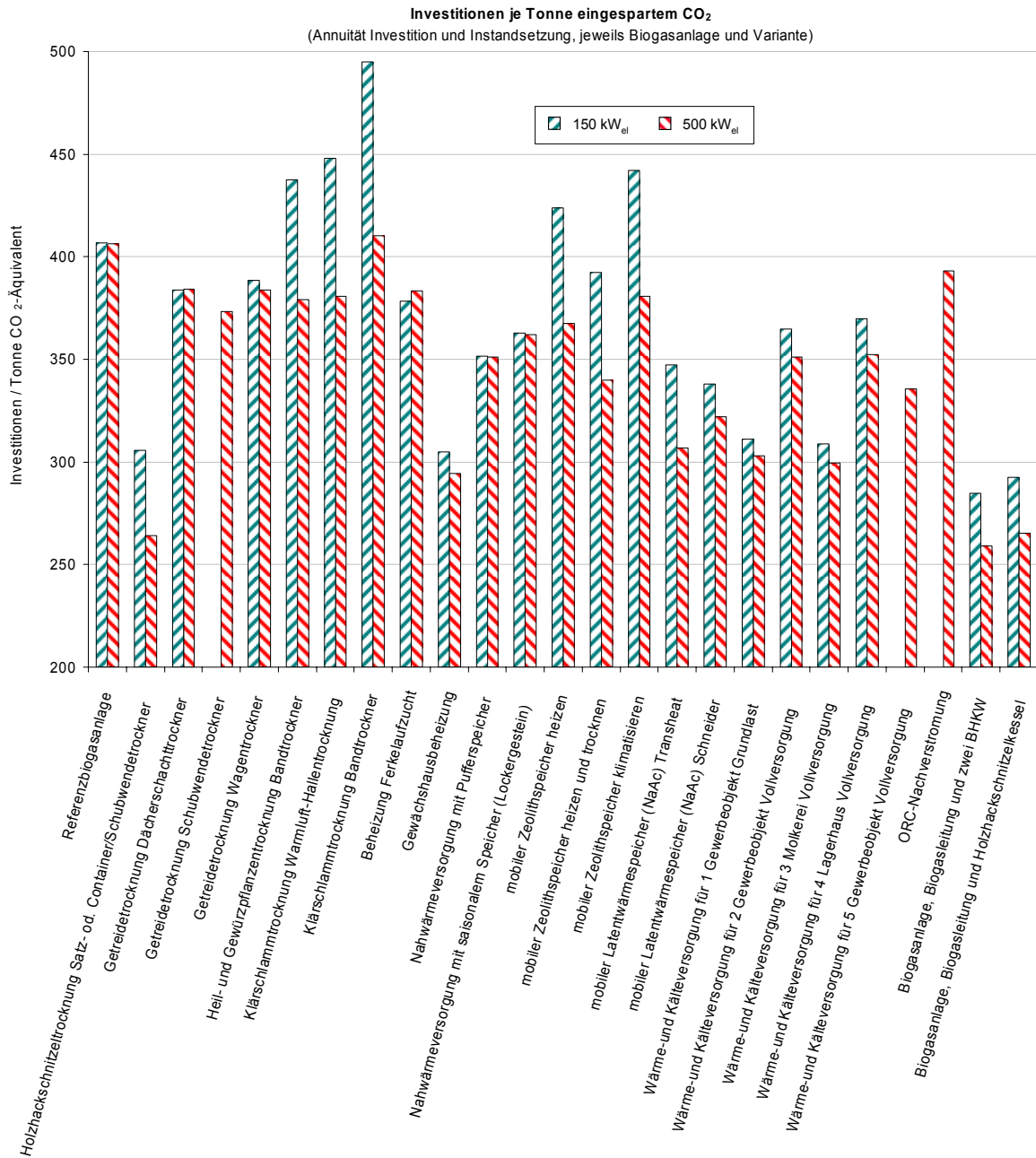


Abbildung 3-5: Investitionen (Annuität Investition und Instandsetzung) je eingesparter Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Annuität der Investitionskosten/eingesparte CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlagen. Als Vergleichsbasis dienen die Wärmeerzeugung mit Heizöl und der Deutsche Strommix.

In Abbildung 3-5 sind jeweils die Investitionskosten der Gesamtanlage (Kosten Biogasanlage und Kosten der Variante der Wärmenutzung) bezogen auf eine Tonne eingesparte CO<sub>2</sub>-Äquivalente dargestellt. Die Werte finden Sie im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-90.

### Weiterführende Informationen

Über die hier betrachteten Beispiele hinausgehend, werden in einem Vorhaben am *bremer energie institut* weitere landwirtschaftliche und industrielle Prozesswärmeanwendungen im Hinblick auf die Nutzung von Biogasabwärme untersucht [Schulz, 2007].

### 3.2.2 Energiebilanz

In den folgenden Energiebilanzen wird das Abwärmepotenzial der Referenzanlage und der betrachteten Abwärmennutzungsvarianten aufgeschlüsselt. Die Abbildungen zeigen, dass bei allen betrachteten Varianten noch ungenutzte, aber nutzbare Abwärmepotenziale bestehen, die z. B. durch eine geeignete Kombination verschiedener Varianten verfügbar gemacht werden könnten.

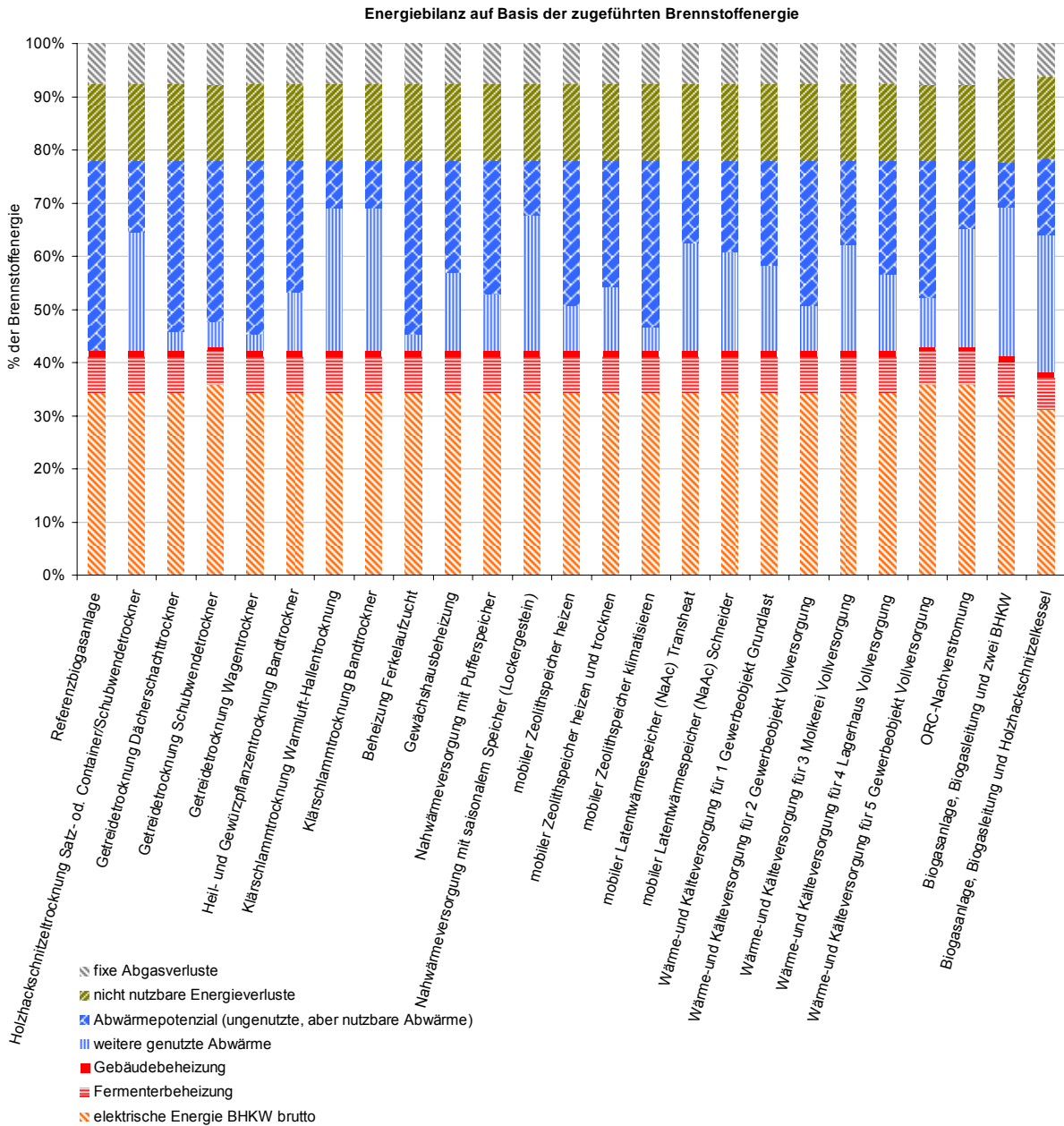


Abbildung 3-6: Energiebilanz auf Basis der zugeführten Brennstoffenergie. Aufgetragen ist der Mittelwert der vier Referenzanlagen. Die Daten finden Sie im Anhang 13.10 Tabelle 13-87.

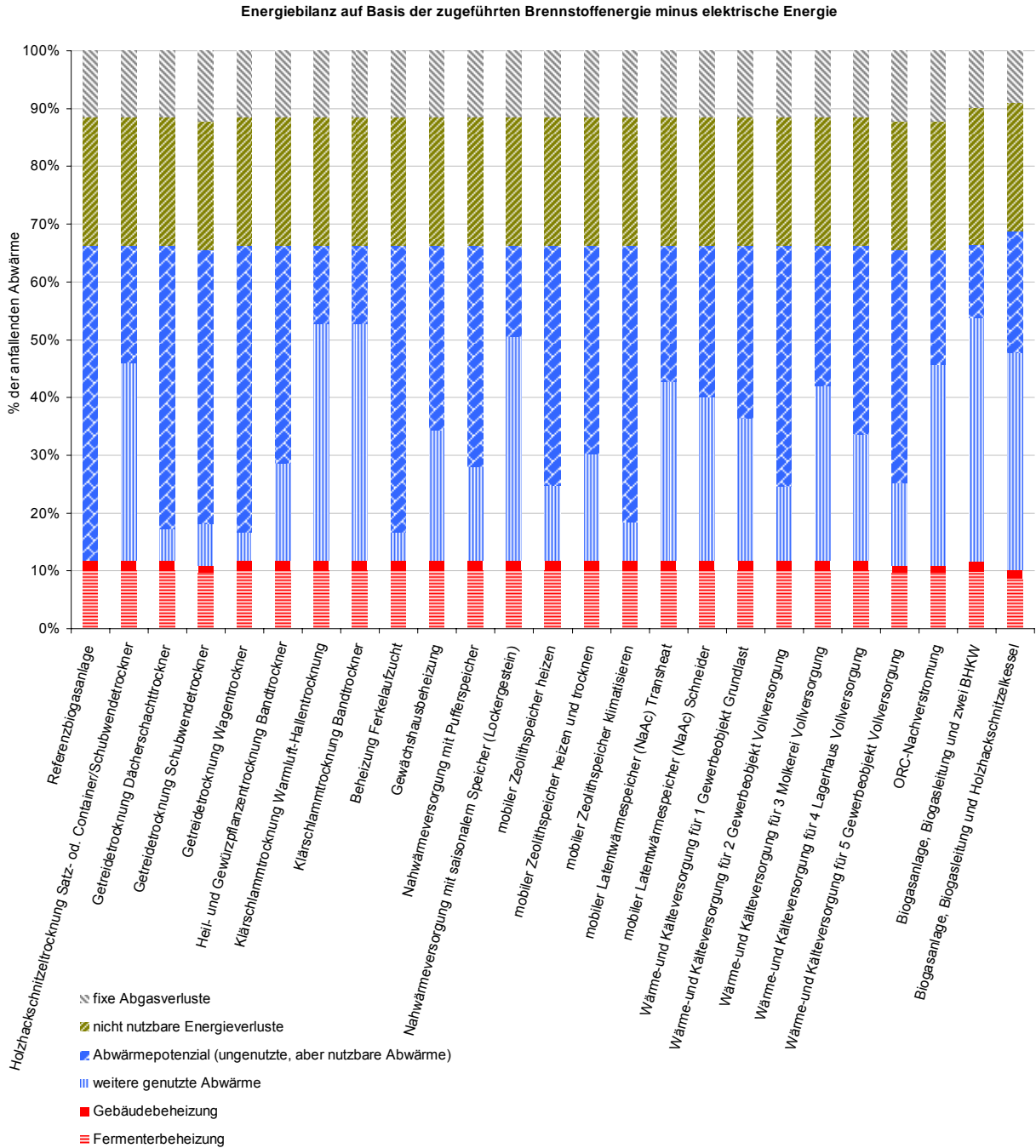


Abbildung 3-7: Energiebilanz auf Basis der zugeführten Brennstoffenergie minus elektrische Energie. Aufgetragen ist der Mittelwert der vier Referenzanlagen. Die Daten finden Sie im Anhang 13.10, Tabelle 13-87.

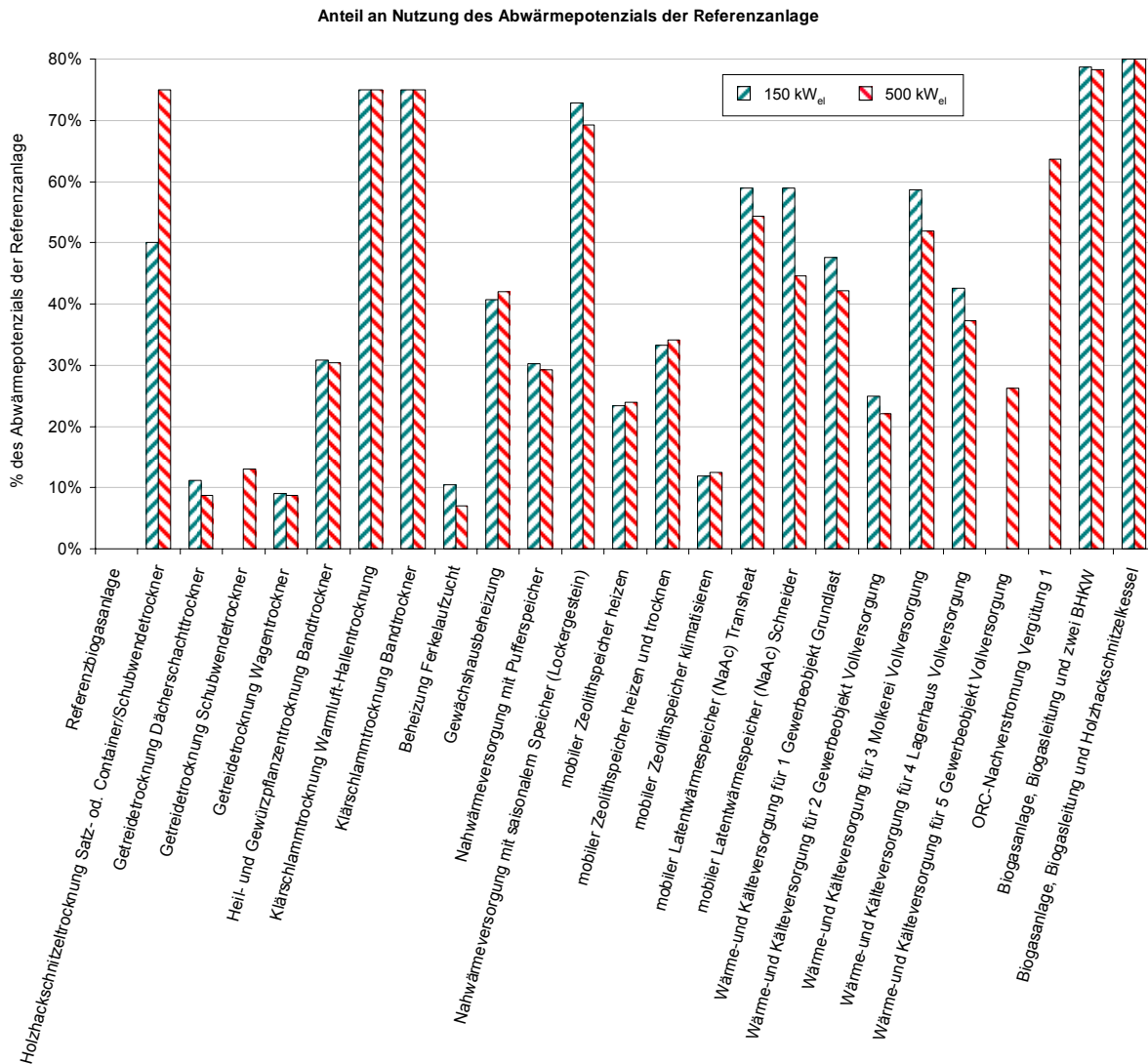


Abbildung 3-8: Anteil an der Nutzung des Abwärmepotenzials der Referenzanlage. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlagen.

Abwärmepotenzial der Referenzanlage ... Abwärme nach Abzug der Fermenterbeheizung, Gebäudebeheizung und Abgasverluste

Die genutzten Abwärmeanteile der Varianten werden meist durch die zeitliche Auslastung der Abwärmenutzung bestimmt. Bei Wärmenutzungen wie Getreidetrocknung, Gewächshausbeheizung, Nahwärmeversorgung oder mobile Speicher kann aus saisonalen Gründen die zur Verfügung stehende Wärme nur zeitweise genutzt werden. In Abhängigkeit der lokalen Gegebenheiten ist deshalb eine geeignete Kombination von Maßnahmen zur optimalen Ausnutzung des Abwärmepotenzials empfehlenswert (z. B. Getreidetrocknung und Hackschnitzeltrocknung), wenn kein dauerhafter Abnehmer zur Verfügung steht. Die Kombination von Varianten wurde in die Betrachtungen aufgrund der Komplexität nicht einbezogen.

### 3.2.3 Reduktion von Treibhausgasemissionen

Die Abbildung 3-9 zeigt jeweils die Treibhausgaseinsparung der Gesamtanlage (Biogasanlage und Variante der Wärmenutzung) in absoluten Zahlen. Gegenüber den Referenzanlagen können mit allen Varianten erheblich Einspareffekte an Treibhausgasemissionen erzielt werden. Als Vergleichsszenario für Berechnung der Einsparpotenziale wurden bei der Wärmerzeugung die spezifischen CO<sub>2</sub>-Äquivalente von Heizöl und bei der Stromerzeugung die spezifischen CO<sub>2</sub>-Äquivalente des deutschen Strommixes herangezogen.

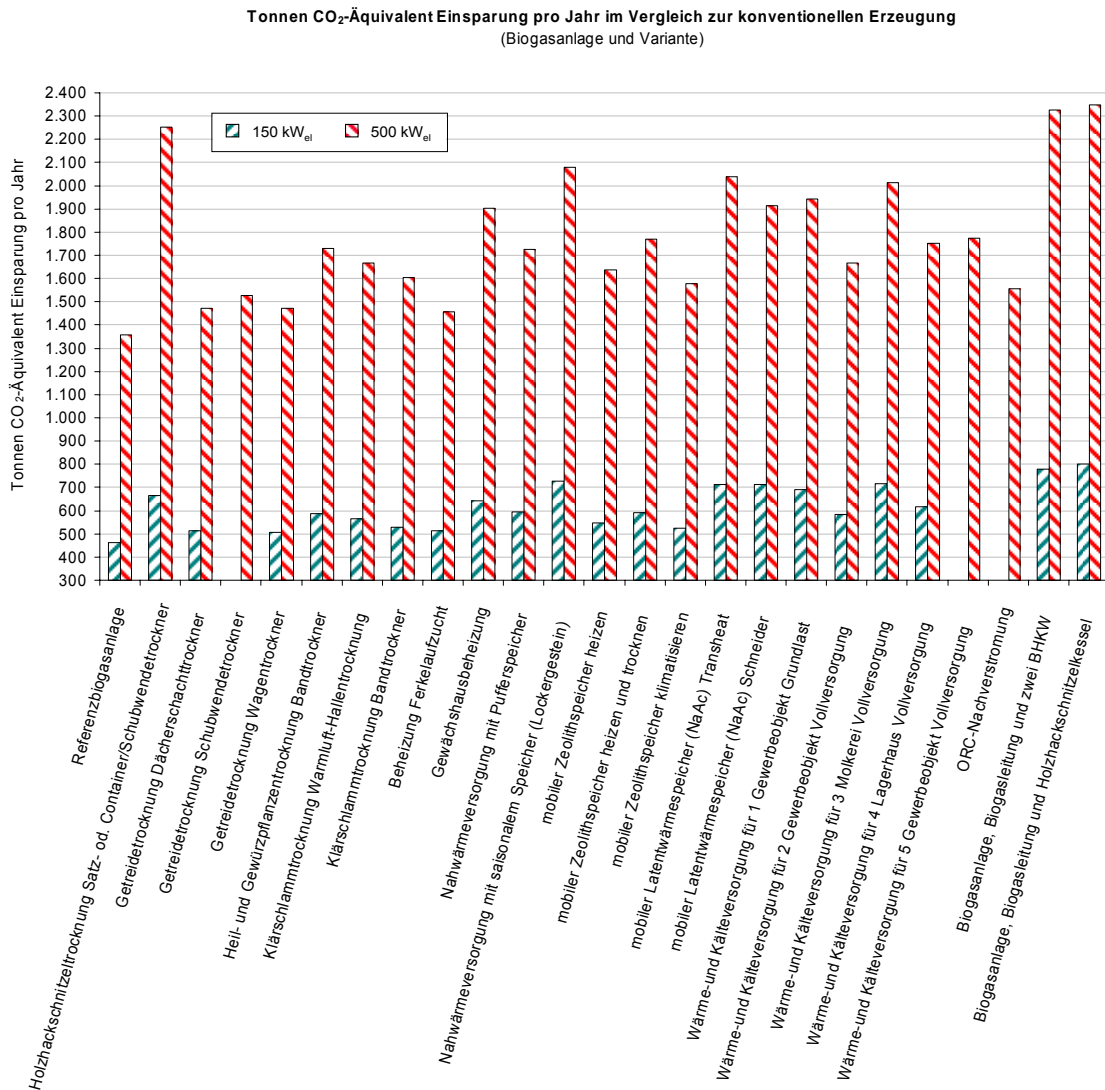


Abbildung 3-9: Absolute CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Einsparung in Tonnen pro Jahr im Vergleich zur konventionellen Erzeugung. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlagen. Die Werte finden Sie im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-90.

Die Abbildung 3-10 zeigt die spezifische Treibhausgaseinsparung der Gesamtanlage (Biogasanlage und Variante der Wärmenutzung) bezogen auf die kWh erzeugte elektrische Energie. Die höhere spezifische Einsparung bei der 150 kW<sub>el</sub> Anlage im Vergleich zur 500 kW<sub>el</sub> Anlage kommt durch die Gutschrift für vermiedene Methanemissionen durch die anteilige Biogaserzeugung aus Gülle zustande. Weitere Details zu Treibhausgasemissionen finden Sie im Abschnitt 11.1 und 11.2.

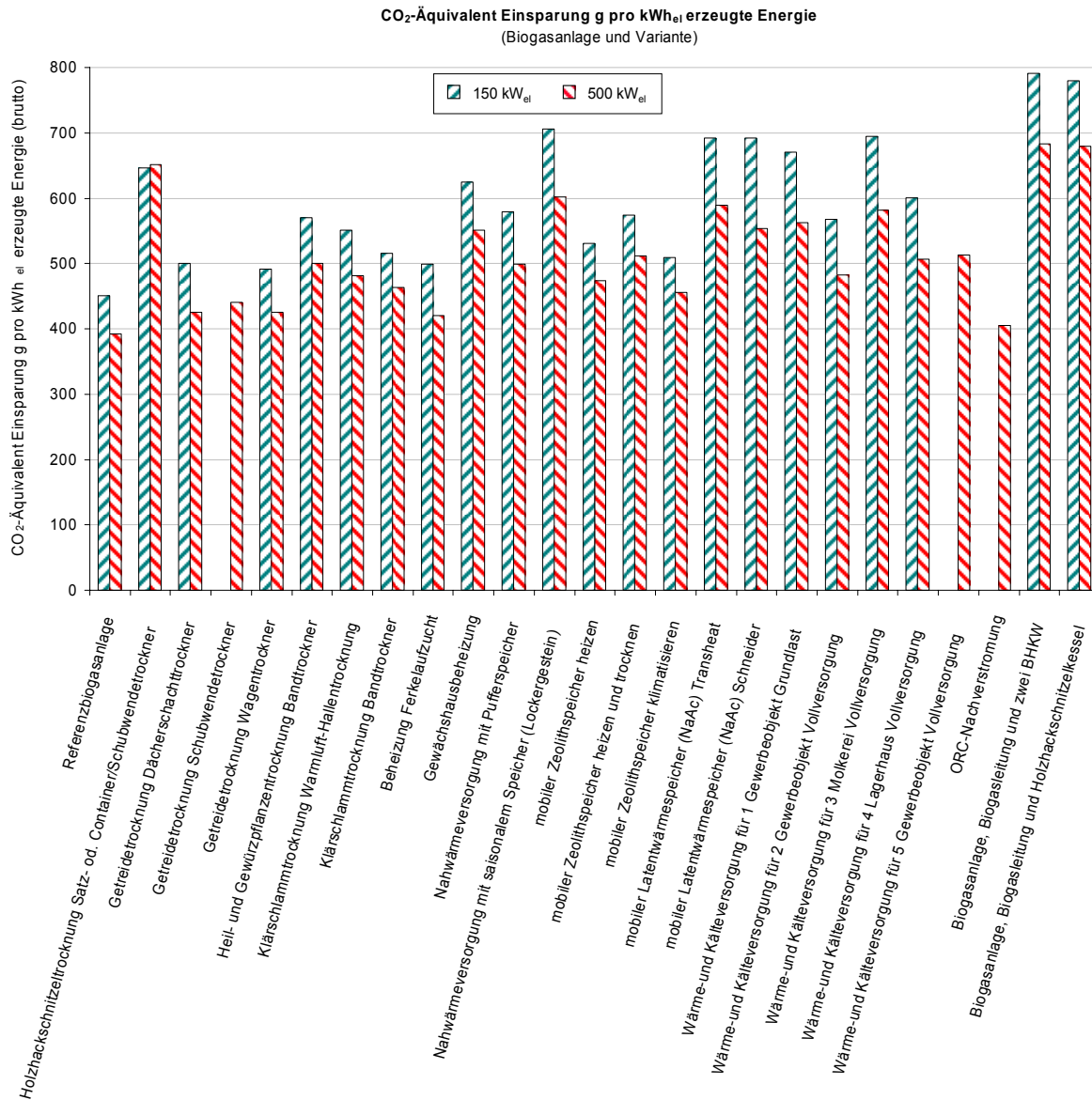


Abbildung 3-10: CO<sub>2</sub>-Einsparung je erzeugte kWh<sub>el</sub> (brutto) im Vergleich zur konventionellen Erzeugung. Berücksichtigt sind jeweils Biogasanlage und Abwärmenutzungsvariante. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlagen. Die Werte finden Sie im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-90.

### 3.2.4 Gesamtbewertung

Als Hilfestellung für Biogasanlagenbetreiber, die in eine Abwärmenutzung investieren wollen, erfolgt in diesem Abschnitt eine Gesamtbewertung der betrachteten Wärmenutzungsvarianten mit einem Punktesystem.

In das Bewertungssystem fließen die folgenden Parameter ein:

- Investitionshöhe (Risiko für den Betreiber)
- Rentabilität
- Anteil der Nutzung am Abwärmepotenzial der Referenzanlage (bisher ungenutzte Abwärme)
- Investitionen je eingesparter Tonnen CO<sub>2</sub>

Zusätzlich wird bei der Bewertung das Kriterium eingeführt, dass die Gewinnannuität einer Variante positiv und die Rentabilität der Biogasanlage in Verbindung mit der Wärmenutzungsvariante besser sein muss als die Rentabilität der Biogasanlage ohne Wärmenutzungsvariante. Varianten, die diese Kriterien nicht erfüllen, sind im folgenden Bewertungsschema mit „*nicht erfüllt*“ gekennzeichnet.

Alle vier Kriterien werden jeweils mit Punkten von 1 (schlechtestes Ergebnis) bis 100 (bestes Ergebnis) bewertet und die Summe gebildet. Die Bewertungsergebnisse sind in im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-91 dargestellt.

**Die Bewertung gilt nur unter den im Rahmen der Studie getroffenen Annahmen. Veränderte Rahmenbedingungen und Konzepte können für Varianten, die im Rahmen dieser Ergebnisse schlecht oder als ungeeignet dargestellt werden, einen wirtschaftlichen Betrieb mit hohem Abwärmegrad ermöglichen. Auch unterliegen die für die Studie getroffenen Annahmen teilweise einer großen Schwankungsbreite, wodurch das Ergebnis zum Positiven oder Negativen verändert werden kann.**

Bei der Bewertung ergeben sich für die beiden betrachteten Leistungsklassen 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> jeweils drei Gruppen von Abwärmenutzungsvarianten.

- sehr gute oder gute Varianten
- Varianten, die in einem oder mehreren Punkten schlecht abschneiden
- Varianten, die die Prüfkriterien nicht erfüllen

Abwärmenutzungsvarianten für Biogasanlagen mit 150 kW<sub>el</sub>

Variante	Punkte	Rang
Holzhackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubwendetrockner	347	1
Gewächshausbeheizung	319	2
Biogasanlage, Biogasleitung und zwei BHKW	290	3
Biogasanlage, Biogasleitung und Holzhackschnitzelkessel	286	3
Wärme- und Kälteversorgung für Molkerei Vollversorgung (3)	258	4
Wärme- und Kälteversorgung für Gewerbeobjekt Grundlast (1)	242	5
Getreidetrocknung Wagentrockner	236	6
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	203	7
Nahwärmeversorgung mit Pufferspeicher	191	8
Beheizung Ferkelaufzucht	178	9
Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandrockner	nicht erfüllt	
Klärschlammrocknung Warmluft-Hallentrocknung	nicht erfüllt	
Klärschlammrocknung Bandrockner	nicht erfüllt	
Nahwärmeversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	nicht erfüllt	
mobiler Zeolithspeicher heizen	nicht erfüllt	
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	nicht erfüllt	
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	nicht erfüllt	
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Transheat	nicht erfüllt	
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Schneider	nicht erfüllt	
Wärme- und Kälteversorgung für Gewerbeobjekt Vollversorgung (2)	nicht erfüllt	
Wärme- und Kälteversorgung für Lagerhaus Vollversorgung (4)	nicht erfüllt	

Tabelle 3-1: Bewertung der Abwärmenutzungsvarianten für 150 kW<sub>el</sub> Anlagen

Abwärmenutzungsvarianten für Biogasanlagen mit 500 kW<sub>el</sub>

Variante	Punkte	Rang
Holzhackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubwendetrockner	358	1
Gewächshausbeheizung	324	2
Biogasanlage, Biogasleitung und Holzhackschnitzelkessel	308	3
Biogasanlage, Biogasleitung und zwei BHKW	306	4
Wärme- und Kälteversorgung für Molkerei Vollversorgung (3)	242	5
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Transheat	233	6
Wärme- und Kälteversorgung für Gewerbeobjekt Grundlast (1)	225	7
Klärschlamm-trocknung Warmluft-Hallentrocknung	213	8
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Schneider	212	9
ORC-Nachverstromung Vergütung 2	194	10
ORC-Nachverstromung Vergütung 3	188	11
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	186	12
Klärschlamm-trocknung Bandrockner	181	13
Wärme- und Kälteversorgung für Lagerhaus Vollversorgung (4)	178	14
Getreidetrocknung Schubwendetrockner	174	15
Getreidetrocknung Wagentrockner	172	16
Wärme- und Kälteversorgung für Gewerbeobjekt Vollversorgung (5)	170	17
Wärme- und Kälteversorgung für Gewerbeobjekt Vollversorgung (2)	157	18
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	157	19
mobiler Zeolithspeicher heizen	150	20
Nahwärmeversorgung mit Pufferspeicher	144	21
Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandrockner	139	22
Beheizung Ferkelaufzucht	133	23
Nahwärmeversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	nicht erfüllt	
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	nicht erfüllt	
ORC-Nachverstromung Vergütung 1	nicht erfüllt	

Tabelle 3-2: Bewertung der Abwärmenutzungsvarianten für 500 kW<sub>el</sub> Anlagen

Sehr gute Varianten sind die Holzhackschnitzeltrocknung, Gewächshausbeheizung und die Varianten mit Biogasleitungen und Grundlastwärmeversorgung zu einem weiter entfernten Abnehmer. Diese Varianten haben eine ausreichende Abwärmenutzung über das ganze Jahr und überschaubare Investitionskosten. Ebenfalls interessant ist für die beiden Leistungsklassen die Kälteversorgung als Grundlastvariante für das BHKW.

Mit den Getreidetrocknungsvarianten ist aufgrund der saisonbedingten kurzen Einsatzzeit von nur etwa zwei Monaten im Jahr eine geringe Abwärmenutzung möglich. Die Variante ist deshalb nur für kleine Anlagen interessant. Eine Nutzungserweiterung durch die Kombination mit einer Hackguttrocknung oder einer anderen Variante ist möglich und verbessert das Potenzial auch für große Anlagen erheblich.

Für die 500 kW<sub>el</sub> Biogasanlagen sind die ORC-Anlagen nur nach dem Vergütungsmodell 2 oder 3 aufgrund der hohen Anlagenkosten wirtschaftlich attraktiv. Da für ORC-Anlagen basierend auf den geringen elektrischen Wirkungsgrad nur eine mittlere CO<sub>2</sub>-Gutschrift erfolgt, liegt dieser in Tabelle 3-2 im Mittelfeld.

Bei den Nahwärmevarianten sind Investitionshöhe bei der saisonalen Speicherung und die Annahme einer Wärmevollversorgung mit der Biogasanlage nachteilig. Bei einer Einbindung in ein größeres Nahwärmenetz und Verwendung der Biogasabwärme als Grundlastversorgung würde sich die Nahwärmeversorgung mit Pufferspeicher deutlich verbessern.



## 4 WÄRMENUTZUNG IN DER LANDWIRTSCHAFT UND KOMMUNE–VARIANTE 1

### 4.1 Einführung

Unter dem Begriff *Wärmenutzungen in der Landwirtschaft und Kommune* werden Konzepte betrachtet, die für ein landwirtschaftliches und kommunales Umfeld naheliegend sind und eine zeitnahe und vor Ort befindliche Nutzung der Wärme ermöglichen.

- Trocknungsprozesse für:
  - Hackschnitzel
  - Scheitholz und Schnittholz (es wird keine wirtschaftliche Betrachtung durchgeführt)
  - Getreide
  - Heil- und Gewürzpflanzen
  - Klärschlamm
- Beheizung einer Ferkelaufzucht
- Beheizung eines Gewächshauses

Bei Trocknungsprozessen sollten möglichst geringe Investitionen verbunden mit einer ganzjährigen Nutzung im Vordergrund stehen. Hierzu zählt vor allem die Hackschnitzeltrocknung. Die Getreidetrocknung wird mit gleicher Technik nur im Sommer durchgeführt. Die Trocknung von Heil- und Gewürzpflanzen oder Klärschlamm ist bei größeren Anlagen trotz höherer Investitionskosten eine wirtschaftliche Möglichkeit der Abwärmenutzung. Nicht näher betrachtete Möglichkeiten sind die Maistrocknung und die Gärresttrocknung.

Die Wärmeversorgung einer Ferkelaufzucht oder eines Gewächshauses ist von der Entfernung und der abgenommenen Wärmemenge abhängig. Bei einer Lage des Abnehmers direkt neben der Biogasanlage ist die Anbindung bereits aufgrund des KWK-Bonus ohne die Erzielung eines Wärmeerlöses wirtschaftlich. Zur Verdeutlichung wird eine Sensitivitätsanalyse vorgenommen.

### 4.2 Randbedingungen für Trocknungsprozesse, Ferkelaufzucht und Gewächshaus

#### ***Trocknungsprozesse***

Die Trocknung bietet eine Wärmenutzung ergänzend zur Beheizung von Gebäuden, da bei den meisten Gütern die zeitliche Nachfrage bereits im Mai einsetzt und im Herbst endet. Nahrungs- und Futtermittel verlangen in der Regel relativ niedrige Trockentemperaturen (40–65 °C) und werden meistens mit fossil beheizten Warmluftquellen getrocknet. Als Produkte sind Hackschnitzel, Getreide, Mais, Kräuter und Klärschlamm sowie die Trocknung des Gärrestes aus der Biogasanlage interessant. Als Trockner werden einfache Satzrockner, Wagentrockner oder technisch aufwendigere Satzwendetrockner und Bandrockner eingesetzt. Alle Trockner werden mit erwärmter Luft zur Trocknung des Produktes betrieben.

Für die Erzeugung der erwärmten Luft kann der Heizwasserkreislauf und das Abgas des BHKWs als Wärmequelle genutzt werden und ein Wasser-Luft- bzw. Abgas-Luft-Wärmeübertrager in Verbindung mit einem Luftgebläse eingebaut werden.

Zur Auslegung der Trocknungsprozesse wird der Trocknungsvorgang überschlägig anhand von Literaturwerten [Kaltschmitt, 2001], [LT-Bau, 1998], [Kröll, 1989], [Reuß, 1997], [Stela, Laxh. 2007] berechnet. Weitere Details finden Sie im Anhang Abschnitt 13.3.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Trocknungsvarianten wird mit folgenden Annahmen durchgeführt:

Trockengut	Trocknungszeitraum	Zeitausnutzung bzw. Abwärmeausnutzung
Holzhackschnitzel	ganzjährig	50 % bei Container oder Satzrockner (nur 150 kW <sub>el</sub> )
		75 % bei Schubwendetrockner (nur 500 kW <sub>el</sub> )
Getreide	Juli und August	50 % bei Dächerschachttrockner
		50 % bei Wagentrockner
		75 % bei Schubwendetrockner (nur 500 kW <sub>el</sub> )
Heil- und Gewürzpflanzen	Juni bis Oktober	75 % bei Bandrockner davon im Juli 50 %, Oktober 70 %
Klärschlamm	ganzjährig	75 % bei Warmluft-Hallentrockner
		75 % bei Bandrockner

Tabelle 4-1: Trocknungszeitraum, Ausnutzung der Abwärme bzw. Zeit im Trocknungszeitraum und betrachtete Techniken. Die Entfernung des Trockners vom BHKW beträgt 20 m (200 €/m).

In einer Sensitivätsbetrachtung wird die Ausnutzung verändert.

### **Ferkelzucht und Gewächshausbeheizung**

Für die Betrachtung der Beheizungssituation wird angenommen, dass ein Abnehmer mit einem bereits vorhandenen Heizsystem mit Abwärme versorgt wird. Zusätzliche Investitionen in ein Reservesystem zur Beheizung sind nicht vorgesehen. Als Wärmeerlös werden 35 €/MWh angesetzt und eine Variation von 25–60 €/MWh durchgeführt. Dieser Wert liegt maximal beim Brennstoffpreis von 55–60 €/MWh bei Nutzung eines Ölkessel. Es wird davon ausgegangen, dass ein Wärmeübertrager, eine Wärmeleitung und eine Übergabestation erforderlich sind. Den entscheidenden Investitionskostenfaktor stellt die Wärmeleitung (200 €/m) und damit die Entfernung vom BHKW dar. Es wird eine Entfernung von 200 m angenommen und eine Sensitivätsbetrachtung durch Veränderung der Entfernung durchgeführt. Weitere Details finden Sie im Anhang Abschnitt 13.3.5 und 13.3.6.

## **4.3 Ergebnisse Trocknungsprozesse, Ferkelaufzucht, Gewächshausbeheizung**

In der folgenden Abbildung sind die wirtschaftlichen Betriebsergebnisse der verschiedenen Trocknungsprozesse dargestellt. Für die 500 kW<sub>el</sub> Anlagen ist die Trocknung von Holzhackschnitzeln, Kräutern, Getreide und Klärschlamm eine sehr wirtschaftliche Variante. Bei der 150 kW<sub>el</sub> Anlage ist die Holzhackschnitzel- und Getreidetrocknung interessant.

Wirtschaftlichkeit der Trocknungsprozesse

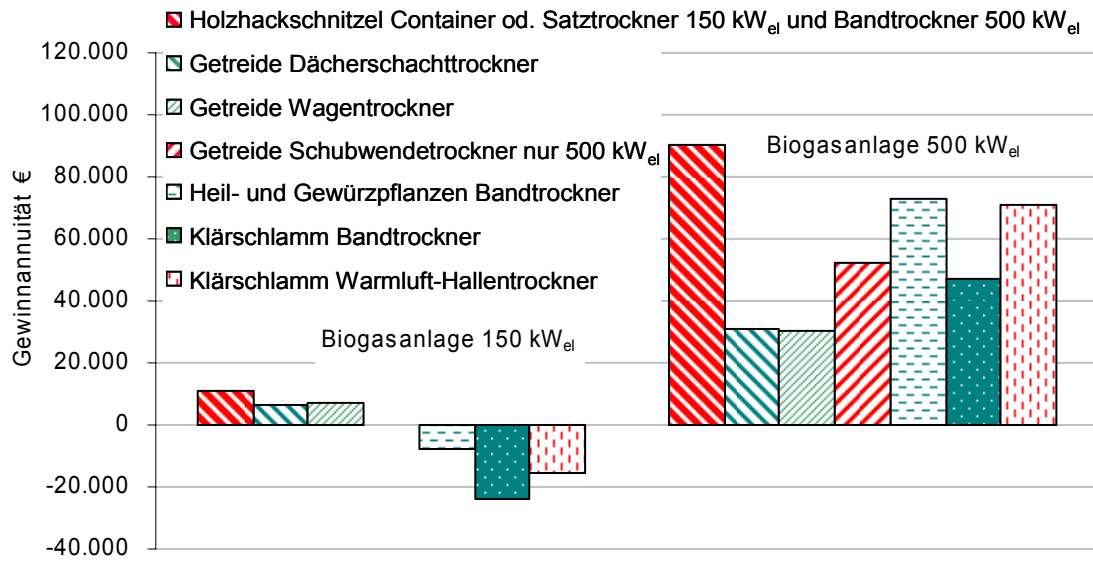


Abbildung 4-1: Gewinnannuität der untersuchten Trocknungsprozesse. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

Wirtschaftlichkeit der Holz hackschnitzel trocknung

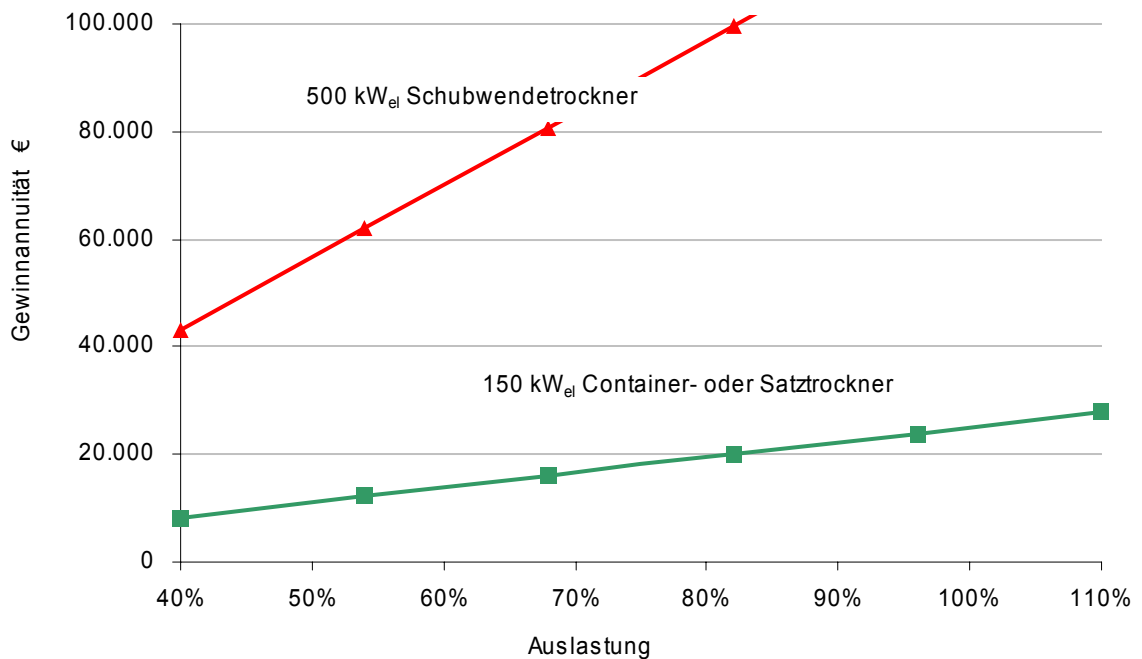


Abbildung 4-2: Gewinnannuität der Hackschnitzel trocknung in Abhängigkeit der Auslastung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

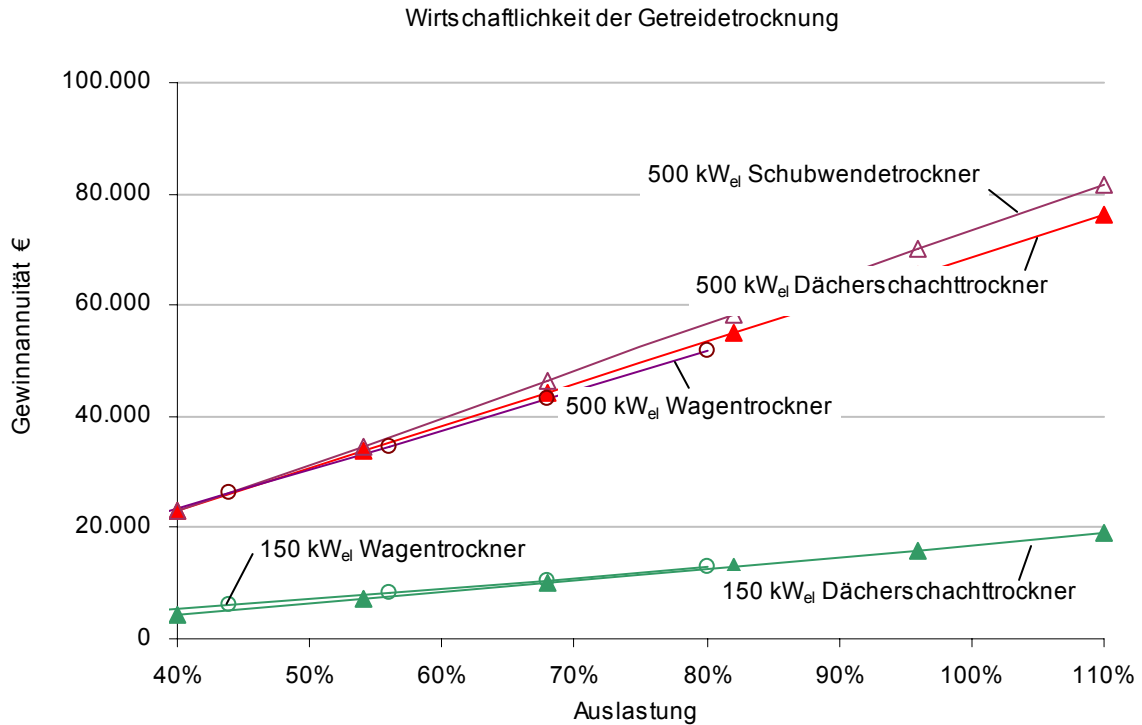


Abbildung 4-3: Gewinnannuität der Getreidetrocknung in Abhängigkeit der Auslastung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

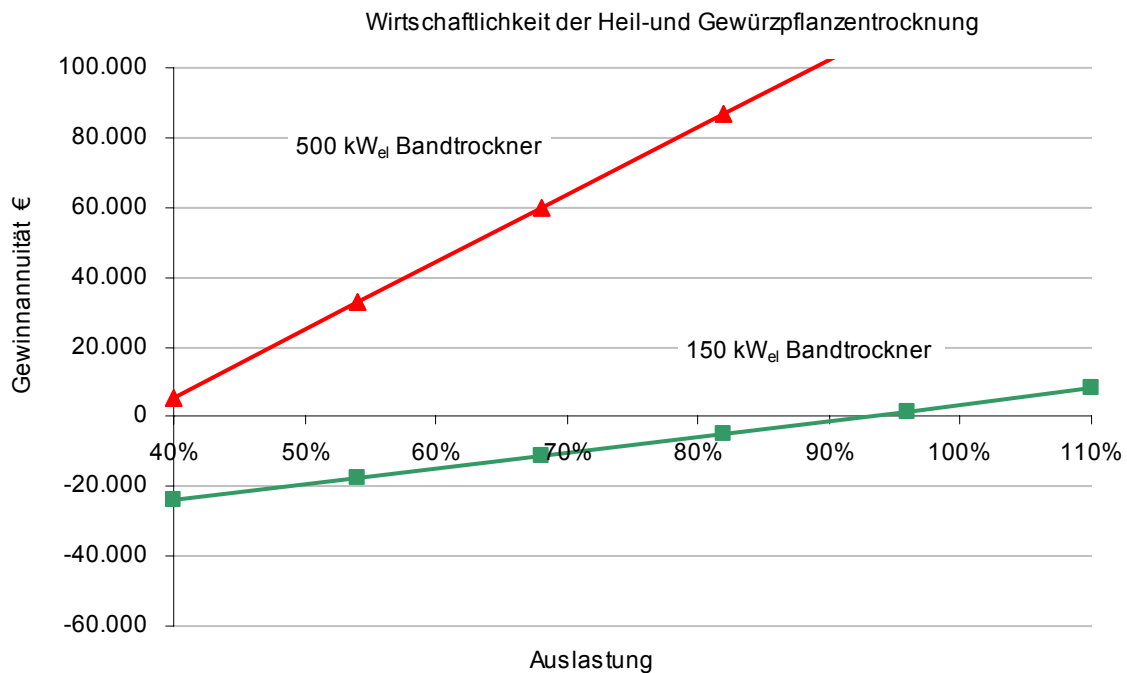


Abbildung 4-4: Gewinnannuität der Trocknung von Heil- und Gewürzpflanzen mit einem Bandrockner in Abhängigkeit der Auslastung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus. Die hohe Investition in einen Bandrockner rechnet sich nur für große Anlagen, aber auch da muss bei den zugrunde gelegten Annahmen die Auslastung über 50 % liegen.

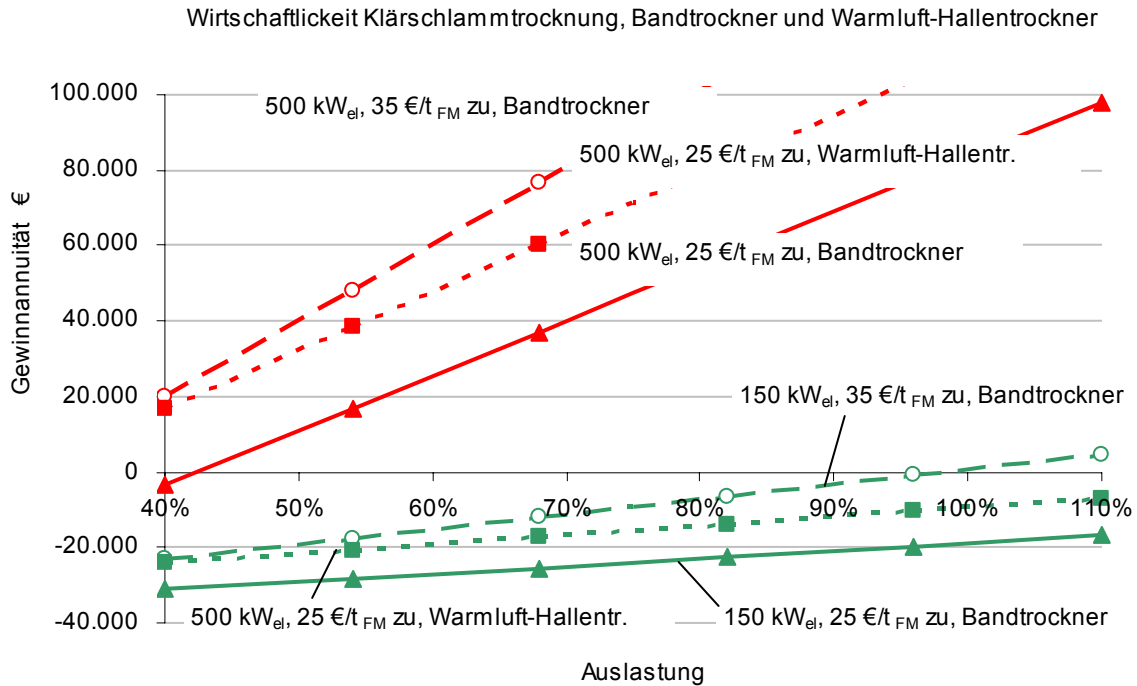


Abbildung 4-5: Gewinnannuität der Klärschlamm-trocknung in Abhängigkeit der Auslastung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus. Es wurden keine Minderungsmaßnahmen von Geruchsemissionen berücksichtigt. Für die 500 kW<sub>el</sub> Anlagen ist die Anwendung einer Klärschlamm-trocknung ab einer Auslastung von etwa 40 % rentabel. Für kleine Anlagen ist kein wirtschaftlicher Betrieb möglich.

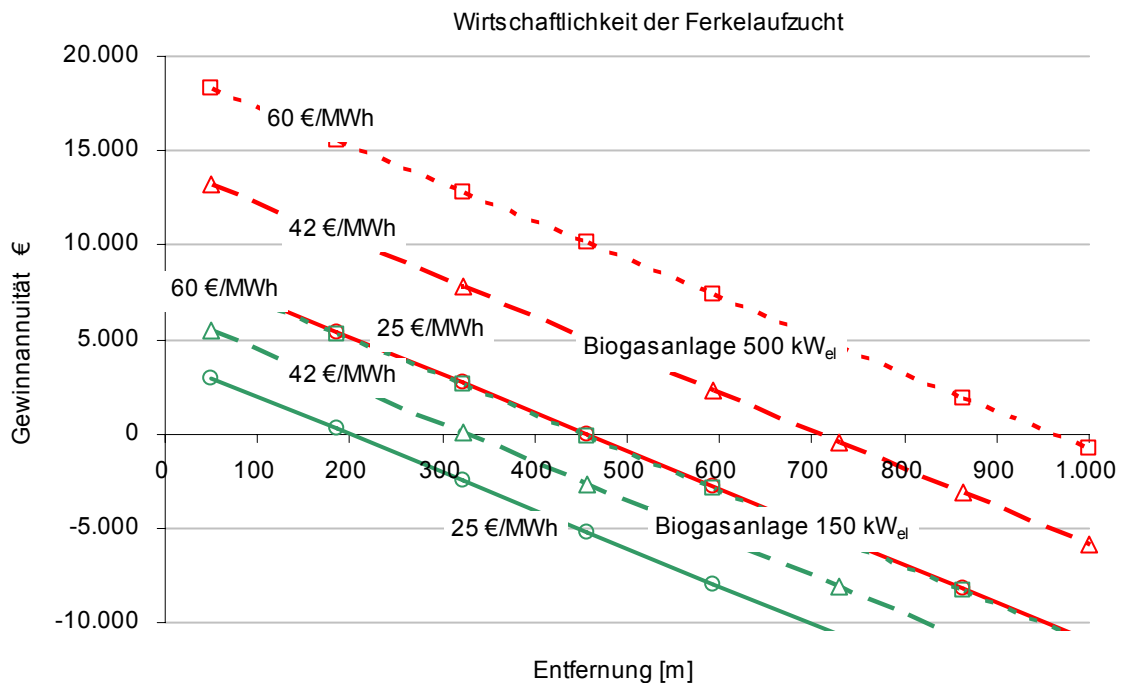


Abbildung 4-6: Gewinnannuität der Ferkelaufzucht in Abhängigkeit des Wärmeerlöses und der Entfernung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

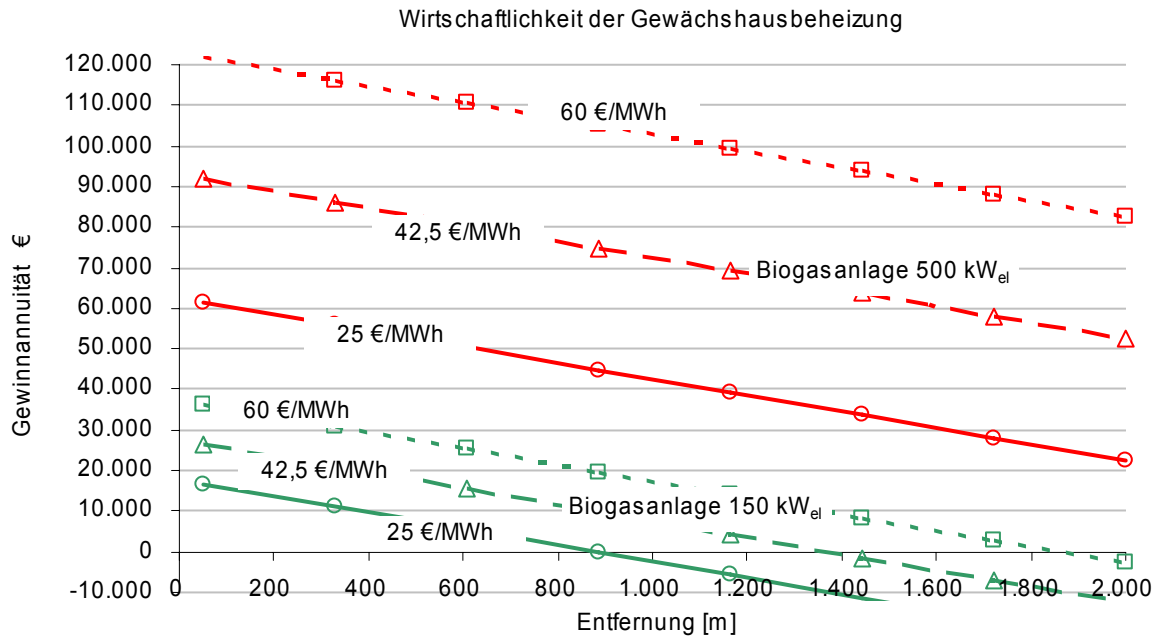


Abbildung 4-7: Gewinnannuität der Gewächshausbeheizung in Abhängigkeit des Wärmeerlöses und der Entfernung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

#### 4.4 Trocknungsprozess für Holzhackschnittel

Holzhackschnittel haben den Vorteil, dass sie ganzjährig getrocknet werden können und somit eine saisonal unabhängige Abwärmenutzung ermöglichen. Es wird mit einem steigenden Bedarf für die Hackschnittelrocknung gerechnet, da hierdurch die Lagerfähigkeit, die Hygiene bei der Handhabung durch reduzierten Pilz- und Schimmelbefall, der untere Heizwert des Holzes und die Emissionen bei der Verfeuerung verbessert werden.

Wenn entsprechende Qualitätskriterien garantiert werden, beispielsweise auf der Basis der europäischen Normen für feste Biobrennstoffe [DIN, 2005], kann mittelfristig von einer weiteren Verbesserung der bereits jetzt erzielbaren Wertschöpfung ausgegangen werden.

Holzhackschnittel können satzweise getrocknet werden. Hierfür ist im Wesentlichen der Einbau einer Belüftungseinrichtung in einen Trocknerbehälter sowie die Anbindung an das BHKW über einen Wärmeübertrager notwendig. Mögliche Trockner sind umgebaute landwirtschaftliche Wagen, Flachlager oder Container. Ein Gebläse bringt die warme Luft über einen Lochboden in die Schüttung ein, welche von unten durchströmt wird. Automatisiertere Systeme sind beispielsweise Schubwendetrockner.

Getrocknete Holzhackschnittel (Feinhackgut) werden überwiegend von Betreibern kleinerer Feuerungen (10–100 kW) nachgefragt, die Hackschnittel mit maximal 35 % Wassergehalt nutzen können, eine relativ geringe Lagerkapazität und einen geringen Bedarf im Sommer haben. Deshalb kann je nach Abnehmerstruktur eine Zwischenlagerung der getrockneten Holzhackschnittel über den Sommer notwendig sein, um eine hohe Auslastung der Trocknung zu erzielen. Das kann durch einen überdachten Lagerplatz realisiert werden.

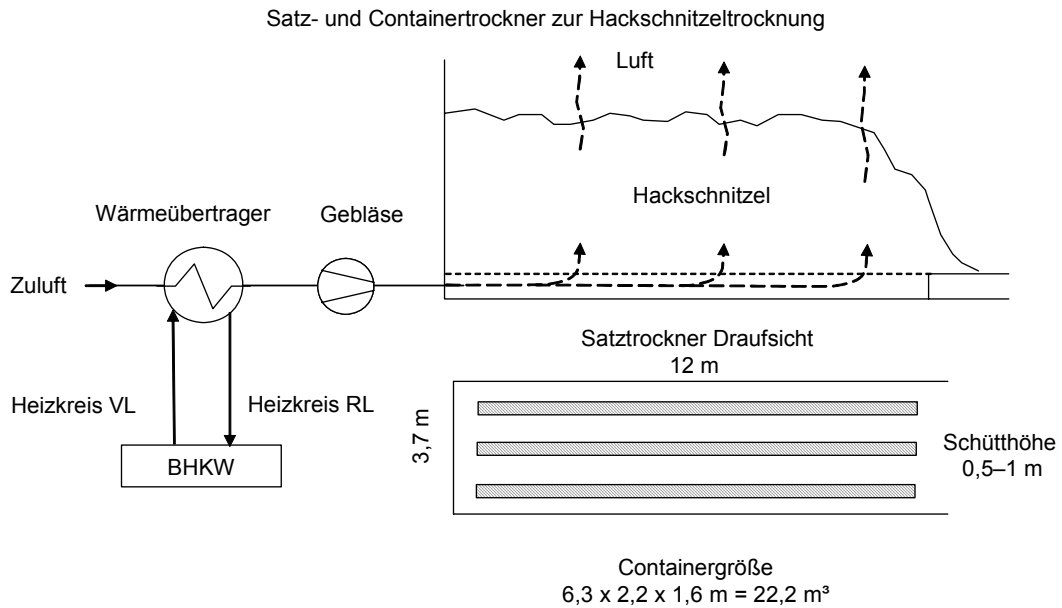
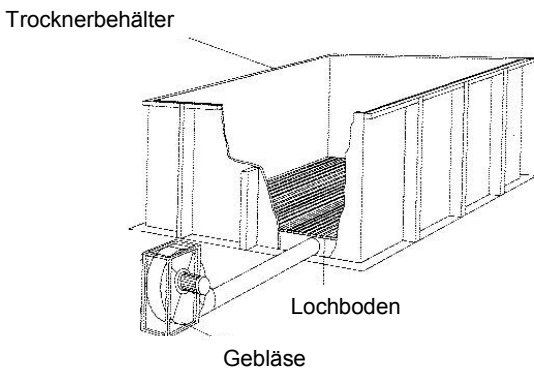


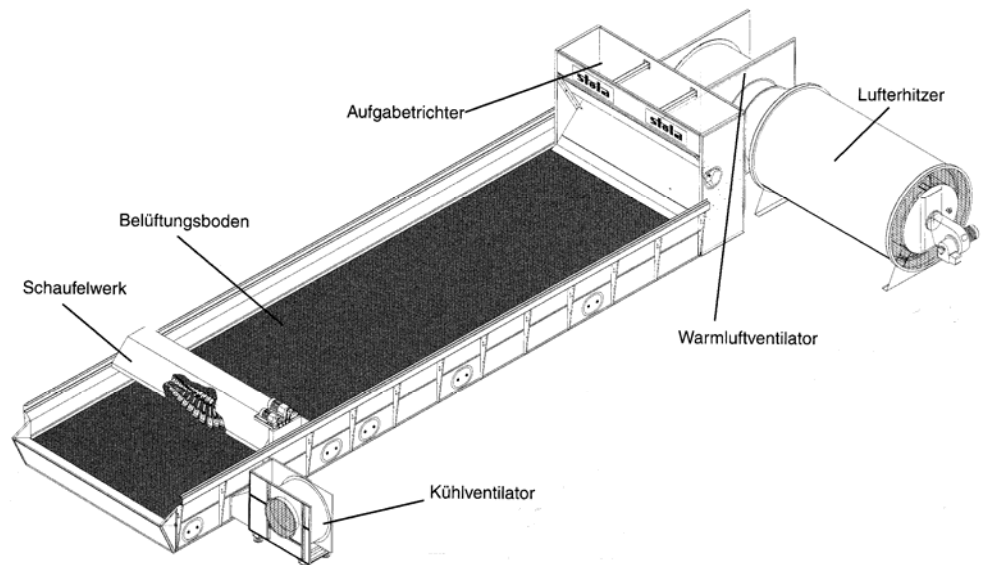
Abbildung 4-8: Schaltbild für eine Satz- oder Containertrocknung



Container ermöglichen eine unkomplizierte Zwischenlagerung und eine arbeitssparende Logistik. Es wird davon ausgegangen, dass der Biogasanlagenbetreiber mit einem Hackschnitzellieferanten zusammenarbeitet, wobei der Biogasanlagenbetreiber die Trocknungsanlage mit zwei Containern betreibt und zusätzlich benötigte Container sowie die weitere Logistik dem Hackschnitzellieferanten zugerechnet werden.

Abbildung 4-9: Container- oder Satztrockner, Quelle [Kaltschmitt, 2001]

Abbildung 4-10: Schubwendetrockner, Quelle [stela, Laxh. 2007]



Biogas-Anlagengröße	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Wassergehalt der Holzhackschnitzel	50 % → 20 %	
Trocknungszeitraum	ganzjährig	
Zeitausnutzung bzw. Abwärmeausnutzung	50 % bei Container- oder Satz Trockner (nur 150 kW <sub>el</sub> )	
	75 % bei Schubwendetrockner (nur 500 kW <sub>el</sub> )	
Schüttdichte	210 kg <sub>FM</sub> /Srm	
Erlössteigerung Holzhackschnitzel	5 €/Srm <sub>FM</sub>	

Tabelle 4-2: Kenndaten Holzhackschnitzeltrocknungsprozess, Ausnutzung der Abwärme bzw. Zeit im Trocknungszeitraum und betrachtete Techniken. Erlössteigerung nach [LfL, 2005b], [CARMEN, 2005], [Bio-Allgäu, 2005].

Bei der Containertrocknung mit der 150 kW<sub>el</sub> Anlage sind zwei Container mit je 22 m<sup>3</sup> vorgesehen. Für die 500 kW<sub>el</sub> Anlage wurde die Variante mit einem Schubwendetrockner berechnet. Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang 13.3.1.

## 4.5 Trocknungsprozesse für Scheitholz- und Schnittholz

### ***Scheitholztrocknung***

Scheitholz wird von zahlreichen Betreibern von Kaminen, Kaminöfen und Kachelöfen in getrockneter Form angefragt, da es nach der 1. BImSchV nur lufttrocken (Wassergehalt 15–20 %) eingesetzt werden darf. Besonders in stadtnahen Regionen lassen sich höhere Trocknungserlöse erzielen als mit Holzhackschnitzeln.

Als technische Lösung zur Beschleunigung der natürlichen Lufttrocknung besteht für Scheitholz die Möglichkeit einer abwärmebetriebenen Containertrocknung [Biernath, 2005] oder einer Trocknung im Trommeltrockner. Eine erste Biogasanlage mit dieser Wärmeanwendung ist im Jahr 2006 in Betrieb gegangen [Biernath, 2006]. Für eine Trocknungsanlage mit etwa 250 kW Wärmeleistung werden Investitionskosten von 64.000 € angegeben.

### ***Schnittholztrocknung***

Höhere Erlöse als bei der Scheitholztrocknung können bei der Schnittholztrocknung erzielt werden. Jedoch sind folgende Punkte zu beachten:

- In der Regel wird Schnittholz direkt am Sägewerk getrocknet. Nicht am Sägewerk gelegene Standorte erfordern zusätzlichen Transport und Umschlag. Die Trocknung von teurerem Laubholz kommt deshalb eher in Frage als von Nadelholz.
- Die Trocknung hochwertiger Hölzer erfordert Trockenkammern mit umfangreicher Mess-, Steuer- und Regeltechnik. Für entsprechende Trockenkammern bei einer 330 kW<sub>el</sub> Biogasanlage sind etwa 200 T€ Investitionskosten erforderlich.
- Die Schnittholztrocknung ist von günstigen Randbedingungen stärker abhängig als die Scheitholz- und Hackschnitzeltrocknung.



## 4.6 Trocknungsprozesse für Getreide

Zur saisonalen Getreidetrocknung im Juli und August wird der Einsatz eines Dächerschachttrockners oder eines Wagentrockners betrachtet. Einem Dächerschachttrockner ist in Abbildung 4-11 dargestellt. Über die kleinen, im Schnitt dreiecksförmigen Kanäle wird die erwärmte Luft dem Trockner horizontal zugeführt. Nachdem die Luft die Getreideschicht durchströmt hat, wird die feuchte Luft über die etwas größeren, dächerförmigen Kanäle abgeführt. Die abgebildete Wagentrocknung erfolgt nach dem Prinzip der Satzrocknung, welches bereits in Abschnitt 4.4 vorgestellt wurde. Für die 500 kW<sub>el</sub> Anlage wird zusätzlich eine Variante mit Schubwendetrockner (Abbildung 4-10) betrachtet.

Der Vorteil der Wagentrocknung und des Schubwendetrockners liegt in der Flexibilität der Anwendung. Im Gegensatz zum Dächerschachttrockner existiert keine Beschränkung auf rieselfähiges Gut wie Getreide. Das erhöht die Chancen für einen zeitlich ausgedehnten Einsatz durch beispielsweise die Erweiterungen auf die Maistrocknung und Hackgutrocknung.

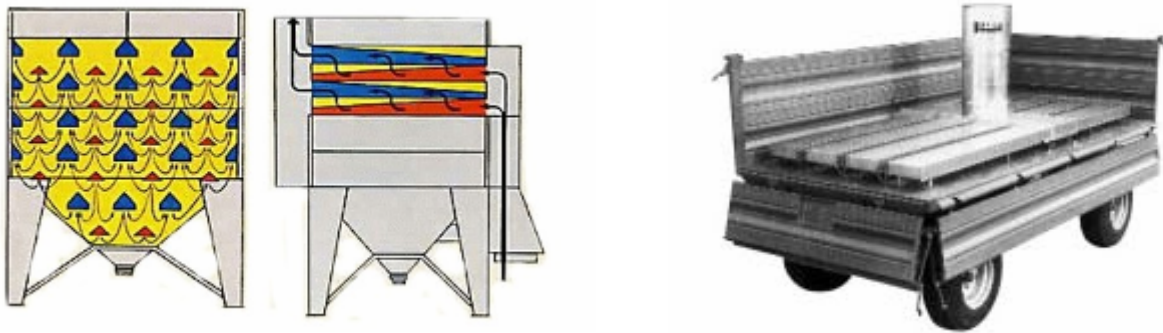


Abbildung 4-11: Links Dächerschachttrockner (Quelle Riela), rechts Wagentrockner (Quelle Rako)

Biogas-Anlagengröße	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Wassergehalt des Getreides	von 20 % auf 14 %	
Trocknungszeitraum	Juli und August	
Zeitausnutzung bzw. Abwärmeausnutzung	50 % bei Dächerschachttrockner	
	50 % bei Wagentrockner	
	75 % bei Schubwendetrockner (nur 500 kW <sub>el</sub> )	
Schüttdichte Getreide	750 kg <sub>FM</sub> /Srm	
Erlössteigerung Getreide [KTBL, 2005]	10 €/t <sub>FM</sub>	
(Erlössteigerung Mais [KTBL, 2005])	41 €/t <sub>FM</sub>	

Tabelle 4-3: Kenndaten Getreidetrocknung, Ausnutzung der Abwärme bzw. Zeit im Trocknungszeitraum und betrachtete Techniken. Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang 13.3.2.

### 4.7 Trocknungsprozesse für Heil- und Gewürzpflanzen

Wenn die Biogasanlage in einem entsprechenden Anbaugebiet liegt, ist die Trocknung von Heil- und Gewürzpflanzen (ggf. auch von Gemüse) eine Möglichkeit der Abwärmenutzung. Eine schonende Trocknung dieser empfindlichen Güter wird mit einem Bandrockner erreicht. Das Gut wird mit geringer Schichthöhe locker auf ein sich bewegendes Band aufgebracht und auf ihm durch den warmen Luftstrom transportiert. Ist der Trockner als Mehrbandrockner ausgeführt, wird das Gut an jedem Ende umgeschichtet und so gleichmäßig getrocknet.

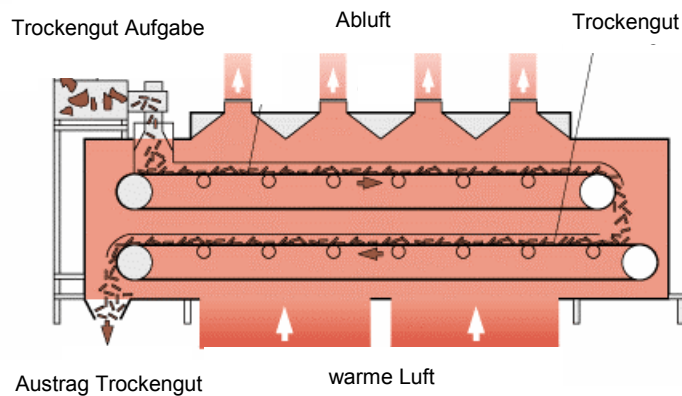


Abbildung 4-12: Bandrockner (Quelle Netzsch)

Pfefferminze, Petersilie, Dillspitzen, Kamille und Bohnenkraut sind typische Kräuter, die mit einem Bandrockner getrocknet werden [KTBL, 2002b]. Als Vertreter für eine Trocknung unter 60 °C, die über den Heizwasserkreislauf realisiert werden kann, werden beispielhaft Pfefferminze und Kamille ausgewählt.

Biogas-Anlagengröße	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Wassergehalt der Pfefferminze und Kamille	von 86 % auf 9 %	
Trocknungszeitraum	Juni bis Oktober	
Zeitausnutzung bzw. Abwärmeausnutzung	75 % bei Bandrockner davon im Juli 50 %, Oktober 70 %	
Massenanteil Pfefferminz und Kamille	je 50 % der TM	
Erlössteigerung Pfefferminz [KTBL, 2005]	189 €/t <sub>FM</sub>	
Erlössteigerung Kamille [KTBL, 2005]	125 €/t <sub>FM</sub>	

Tabelle 4-4: Kenndaten Trocknung von Heil- und Gewürzpflanzen mit einem Bandrockner und Ausnutzung der Abwärme bzw. Zeit im Trocknungszeitraum. Die hohen Investitionskosten hängen mit den erforderlichen hochwertigen Werkstoffen beim Einsatz von Lebens- und Arzneimitteln zusammen. Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang 13.3.3.

## 4.8 Trocknungsprozesse für Klärschlamm

Ein ganzjähriger Trocknungsbedarf besteht für Klärschlamm. Die Trocknung von Klärschlamm weist steigenden Bedarf auf, da das Kreislaufwirtschaftsgesetz seit 2005 die unbehandelte Deponierung von Klärschlamm verbietet und die thermische Verwertung von Klärschlamm an Bedeutung gewinnt. Die Bayerische Staatsregierung hat im Rahmen einer Neuausrichtung der Klärschlamm Entsorgung konkret das Ziel formuliert, mittelfristig den gesamten bisher landwirtschaftlich und landschaftsbaulich verwerteten Klärschlamm (entspricht 60 % des Gesamtanfalls im Jahr 2004) einer thermischen Behandlung/Verwertung zuzuführen. Die thermische Trocknung mit Abwärme von bereits mechanisch entwässertem Klärschlamm reduziert die Transportkosten von dezentralen Kläranlagen zu größeren zentralen Verbrennungsanlagen und erhöht den Heizwert im Klärschlamm, da bei der Verfeuerung weniger Wasser verdampft werden muss. Anlagen zur Klärschlamm-trocknung sind sowohl als kommunale Anlagen oder landwirtschaftliche Anlagen denkbar. Ein Standort am Anfallort des Klärschlammes (Klärwerk) ist vorteilhaft.

Die betrachteten Anlagen für Klärschlamm-trocknung sind Band-trockner und die Warmluft-Hallentrocknung in einem Glashaus. Die Konstruktion ist ähnlich den solar unterstützten Klärschlamm-Trocknungsanlagen. Es wird eine Glashallenkonstruktion ähnlich einem Gewächshaus mit dem Klärschlamm befüllt und mit der Abwärme durchströmt. Die Arbeitsweise kann stationär oder kontinuierlich erfolgen. Ein regelmäßiges Wenden des Schlammes ist erforderlich.

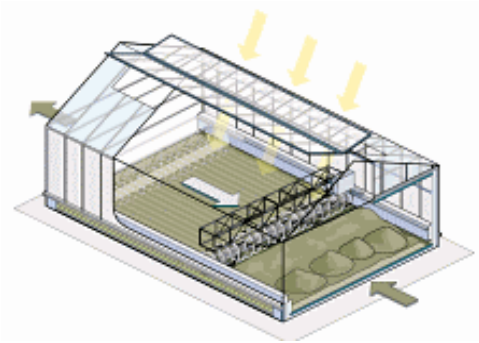


Abbildung 4-13: Klärschlamm-trocknung mit Warmluft-Hallentrocknung (Quelle Ist-Anlagenbau)

Biogas-Anlagengröße	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Wassergehalt des Klärschlammes	von 75 % auf 35 %	
Zeitraum	ganzjährig	
Zeitausnutzung bzw. Abwärmeausnutzung	75 % bei Warmluft-Hallentrocknung	
	75 % bei Bandtrockner	
Erlössteigerung	25 €/t <sub>FM</sub>	

Tabelle 4-5: Kenndaten zur Trocknung von Klärschlamm, Ausnutzung der Abwärme bzw. Zeit im Trocknungszeitraum und betrachtete Techniken.

Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang 13.3.4.

## 4.9 Beheizung einer Ferkelaufzucht

Ferkelaufzuchtplätze können mit verschiedensten Techniken beheizt werden (Warmwasser, elektrisch, Infrarot, Gas). Eine Zonenbeheizung der Liegeflächen reduziert den Wärmebedarf. Die Zonenheizung ist als Fußboden-, Wand- oder Deckenheizung möglich. Eine Nachrüstbarkeit bieten mit Warmwasser beheizte Liegematten. Über die Beständigkeit solcher Matten kann keine Aussage getroffen werden.



Abbildung 4-14: Wasserbeheizte Liegematten für Ferkel-Liegeplätze.

Die Ferkelaufzucht erfolgt in Bayern im Durchschnitt mit etwa 690 Ferkeln pro Betrieb [Lfl, 2005c]. Wird von einem Heizbedarf von maximal 16 kWh pro Monat pro Aufzuchtplatz [Feller, 2007] ausgegangen, können bei Versorgung eines Betriebes mit 1.000 Aufzuchtplätzen bei 150 kW<sub>el</sub> und 2.000 Plätzen bei 500 kW<sub>el</sub> ca. 11 % des Abwärmepotenziales der 150 kW<sub>el</sub> bzw. 7 % der 500 kW<sub>el</sub>-Anlage verwendet werden. Bei der Beheizung der Maximalanzahl von 4.000 bzw. 12.400

Ferkeln können etwa 45 % des Abwärmepotenziales genutzt werden. Von Mai bis September erfolgt eine geringere Beheizung (siehe Tabelle 13-30).

Anlagengröße	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Zeitraum mit Wärmeversorgung	ganzjährig	
Heiztemperatur	23–32 °C	
Heizwärmebedarf pro Aufzuchtplatz	3 kWh/Monat (Sommer) bis 16 kWh/Monat (Winter)	
Erlös Wärme	25–60 €/MWh Wärme	
Aufzuchtplätze maximal beheizbar	4.000	12.400
Aufzuchtplätze angenommen	1.000	2.000

Tabelle 4-6: Kenndaten für die Ferkelaufzucht.

Weitere Details finden Sie im Anhang 13.3.5.

Je nach Ausrichtung des landwirtschaftlichen Betriebes kann die Wärme auch zu anderweitiger Stallbeheizung genutzt werden. Bei größeren Tierhaltungen ist eine Kopplung der Wärmenutzung mit einer Absorptionskältemaschine möglich, die im Sommer die Ställe klimatisiert und damit eine ganzjährige Wärmeabnahme ermöglicht. Bezüglich Absorptionskältemaschinen kann Kapitel 7 einen Anhaltspunkt geben.

## 4.10 Gewächshausbeheizung

Vorhandene Gärtnereien in der Umgebung einer Biogasanlage kommen als Abnehmer für die Abwärme in Frage. Für Gärtnereien interessant ist die Errichtung neuer Gewächshäuser in direkter Nachbarschaft zu Biogasanlagen.

Üblicherweise werden Gewächshäuser in der Zeit von Oktober bis März beheizt. Die Berechnungen werden für eine Gemüse­gärtnerei mit 20 °C Gewächshaus­temperatur durchgeführt, da diese in Bayern zahlenmäßig gegenüber Zierpflanzenbetrieben überwiegen. Werden Rosen oder Ähnliches ge­züchtet, ist eine Temperatur von 25 °C gefordert.

Die Konstruktion der Gewächshäuser und eine optimierte Ausnutzung der solaren Einstrahlung haben große Auswirkungen auf die Wärmebilanz. Die an­gesetzten Werte entsprechen Gewächshäusern im Bestand, die einen hohen Wärmebedarf aufweisen. Die Werte sind im Anhang 13.3.6 aufgelistet.

Anlagengröße	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Zeitraum mit Wärmeversorgung	Oktober bis März	
Erlös Wärme	25–60 €/MWh Wärme	
Beheizte Gewächshausfläche	430 m <sup>2</sup>	1.300 m <sup>2</sup>
spezifischer Heizwärmebedarf	1.075 kWh/(m <sup>2</sup> a)	1.075 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Tabelle 4-7: Kenndaten für die Gewächshausbeheizung

Werden optimierte Konstruktionen und Betriebsweisen eingesetzt, können entsprechend größere Gewächshausflächen mit derselben Wärmemenge beheizt werden. Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang 13.3.6.

Zusätzlich zur Heizwärme kann ein BHKW an Gewächshäuser auch CO<sub>2</sub> über das Abgas zur Düngung liefern. Dazu werden die Motorabgase über eine verbesserte Abgasreinigung (beispielsweise CO-Oxidationskatalysator) in die Gewächshäuser geleitet [Schollmeyer, 2002]. Bei Einsatz einer Mikrogasturbine kann auf die bei Motoren notwendige Katalysatortechnik zur Abgasreinigung verzichtet werden. In Dithmarschen/Schleswig-Holstein ist seit Dezember 2005 die Wärme- und CO<sub>2</sub>-Versorgung eines neu errichteten Gewächshauses mit 6,3 ha Fläche durch eine Biogasanlage in Betrieb [Pecka, 2006]. Der Jahreswärmebedarf ist mit 500 kWh/(m<sup>2</sup>a) aufgrund des besseren Gebäudestandards halb so hoch wie in dieser Studie angenommen.

## 5 WÄRMEVERSORGUNG ÜBER EIN NAHWÄRMENETZ– VARIANTE 2

### 5.1 Einführung

Unter dem Begriff *Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz* werden Konzepte betrachtet, die ausgehend von der Abwärme der Referenzanlagen, Gebäude über ein Nahwärmenetz versorgen. Als Wärmeträger wird im Nahwärmenetz Wasser verwendet, welches in den isolierten Leitungen zu den Gebäuden geleitet wird. Im Gebäude befindet sich eine Hausübergabestation. Diese überträgt die Wärme auf das Wärmeverteilsystem im Gebäude. Bei der Versorgung unterscheidet man zwischen Grundlast- und Spitzenlastversorgung. Die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung wird bestimmt durch die Kosten für den Brennstoff bzw. die Substrate, die optimale Leistungsdimensionierung der Wärmebereitstellung und der abgenommenen Wärme pro m Trassenlänge (kWh/m Trasse). Letzteres wird über eine hohe Anschlussleistungsdichte, angegeben in kW/m Trasse, erreicht. Eine hohe Anschlussdichte ist für alle Nahwärmesysteme wichtig. Für Kommunen gibt es Möglichkeiten, auf der Basis des novellierten Bundes-Baugesetzbuches unter Berufung auf den allgemeinen Klimaschutz durch Regelungen aktiv zu werden [Neumann, 2004].

#### **Wärmebedarf und Wärmebedarfsdeckung**

Nahwärmenetze benötigen nur wenige Stunden im Jahr die errechnete Spitzenlast. Abbildung 5-1 zeigt den Verlauf einer geordneten Jahresdauerlinie eines Nahwärmenetzes. Die Jahresdauerlinie ist der nach der Größe des Wertes geordnete Verlauf der stündlichen Wärmeleistungsbedarfswerte. Bei der Leistungsberechnung sind so genannte Gleichzeitigkeitseffekte zu berücksichtigen. Leistungen für Brauchwarmwassererzeugung und Raumbeheizung werden nicht von allen Verbrauchern zum gleichen Zeitpunkt angefordert. Bei der Berücksichtigung der Gleichzeitigkeit vermindert sich die erforderliche Spitzenlast im Vergleich zur aufsummierten Leistung aller angeschlossenen Verbraucher. Bei nach dem Wärmebedarf betriebenen Systemen (wärmegeführte Systeme wie beispielsweise Hackschnitzelkessel oder kleine Heizöl-BHKWs in Hotels) sind ausreichende Wärme-Vollbenutzungsstunden von mehr als 3.500 Stunden anzustreben.

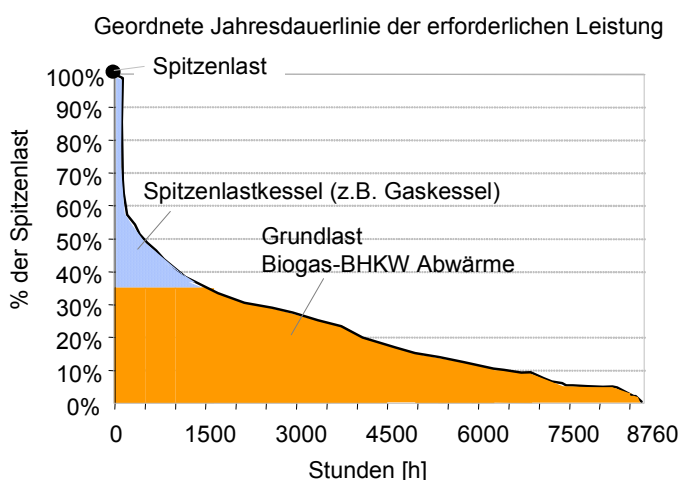


Abbildung 5-1: Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmeleistungsbedarfs

Üblicherweise wird dazu die Leistung des Grundlastwärme liefernden Systems auf 30 bis 50 % der erforderlichen Spitzenleistung ausgelegt. So können 70 bis 90 % der jährlichen Wärmemenge mit dem Wärmegrundlastsystem erzeugt werden. Die restliche Leistung zur Spitzenlastdeckung wird in der Regel mit einem zweiten System, einem so genannten Spitzenlastkessel, der gleichzeitig als Reserveheizungssystem dient, z. B. einem Öl- oder Gaskessel, bereitgestellt. Bei Systemen, die aufgrund der Stromerzeugung betrieben (stromgeführt) werden (beispielsweise Biogas-BHKW) ist die Aufteilung in Grund- und Spitzenlast nicht zwingend erforderlich.

Solange die erforderliche Wärmeleistung für die Abnehmer mit der verfügbaren BHKW-Abwärmeleistung gedeckt werden kann, ist ein Spitzenlastkessel nicht erforderlich. In diesem Fall muss jedoch geklärt sein, wie eine durchgehende Wärmeversorgung z. B. beim Ausfall der Biogasanlage sichergestellt werden kann (z. B. vorhandenes Reserveheizungssystem, kurzfristig verfügbarer Öl- oder Gaskessel im mobilen Container, Pufferspeicher). Wenn die Anschlussleistung des Nahwärmenetzes über die BHKW-Abwärmeleistung hinausgeht, ist ein Spitzenlastsystem erforderlich. In begrenztem Umfang kann die Spitzenlast durch die Einbindung von Pufferspeichern gedeckt werden.

### ***Gut geeignete Verbraucher für ein Nahwärmenetz***

- Schwimmbäder (Heiz- und Trocknungsbedarf)
- Schlachthöfe (Kältebedarf), Molkereien, Holz- und andere Trocknungswerke, Brauereien
- Mehrgeschossige Wohnbauten
- Ländliche dichte Bauernhaussiedlung (ältere Bausubstanz)
- Bürogebäude, Krankenhäuser, Wohnheime, Schulen (Klimatisierungsbedarf)
- Wohngebiete mit dichter Einfamilienhausbebauung (ältere Bausubstanz)
- Kommunale Bürogebäude
- Industrieanlagen mit Fertigungseinrichtungen und Gewerbebetriebe

Aufgrund des geringen Energieverbrauches sind Neubaugebiete mit Einfamilienhausbebauung (Niedrigenergie- und Passivhäuser), Lagerhallen, Bauhöfe aus wirtschaftlicher Sicht eines Wärmelieferanten weniger attraktiv. Bei der Versorgung dieser Gebäude sollte darauf geachtet werden, dass auch Gebäude mit höherem Wärmebedarf versorgt werden. Ebenso sind weit entfernte Objekte aufgrund der hohen Leitungskosten problematisch.

### ***Nahwärmenetz***

Die Kosten pro Meter Leitungstrasse (Vorlauf- und Rücklauf) betragen in der Praxis je nach Leitungsdimension, Oberflächenbeschaffenheit, Leitungstyp und Schwierigkeitsgrad der Grabung, beispielsweise aufgrund vieler bereits vorhandener Leitungen im Boden, zwischen 150 und etwa 650 €. Für größere Leitungsdimensionen und unter besonders ungünstigen Rahmenbedingungen sind auch höhere Kosten möglich. Hinzu kommen die Kosten für die Hausübergabestation, die je nach erforderlicher Leistung zwischen 3.000 (z. B. 10 kW) und 10.000 € (etwa 50–100 kW) liegen.

### ***Pufferspeicher***

Um mit konstanter Wärmeleistung auch kurzzeitige Wärmeverbrauchsspitzen innerhalb eines Tages zu decken, können für einige Stunden wirkende *Pufferspeicher* integriert werden. Das Pufferspeichervolumen kann am BHKW-Standort oder als kleiner Speicher in jeder Übergabestation integriert werden.

### ***Saisonaler Wärmespeicher***

Um die Wärmeverbrauchsunterschiede zwischen Sommer und Winter für einen Wärmeezeuger möglichst gut auszugleichen, können so genannte *saisonale Wärmespeicher* eingesetzt werden. Bisher wurden saisonale Wärmespeicher nur in Verbindung mit solarthermischen Kollektoren angewandt. In Deutschland wurden einige Anlagen dieser Art realisiert. Ein saisonaler Speicher ermöglicht eine gute Nutzung der BHKW-Abwärme. Es wird dabei anfallende Wärme im Sommer eingespeichert und im Winter genutzt. Die Speicher sind entsprechend groß zu dimensionieren und möglichst im Erdreich einzubinden bzw. es wird auch das Erdreich und das Grundwasser als Speichermedium genutzt. Aufgrund des hohen Speichervolumens eines saisonalen Speichers und der eingespeicherten Abwärme aus den Som-

monaten können höhere Spitzenleistungen im Winter bedient werden. Es steigt dadurch die Anzahl der versorgbaren Abnehmer.

Eine Form der saisonalen Speicherung von Energie im Untergrund ist der Erdwärmesondenspeicher. Der Speicher lässt sich an vielen Standorten errichten und ist stufenweise erweiterbar. Die Kosten eines saisonalen Wärmespeichers variieren etwas bei unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit. Die Variante mit saisonaler Speicherung ist bei den angenommenen Wärmeerlösen an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit.

## 5.2 Randbedingungen für die Nahwärmekonzepte

Die Anzahl der Abnehmer werden für die betrachteten Konzepte so gewählt, dass diese mit den Biogas-Referenzanlagen voll versorgt werden können. Anlagen zur Spitzenlastversorgung werden nicht vorgesehen. Die als Wärmeverbraucher angenommenen Neubau-Wohnsiedlungen in Nachbarschaft zur Biogasanlage bestehen aus Einfamilienhäusern nach EnEV-Standard.

<b>Gebäude und Anlage</b>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Gebäudeart Neubau-Wohnsiedlung	17.245 kWh/Gebäude	
Nutzfläche der Gebäude / Anzahl der Personen pro Haus	180 m <sup>2</sup> / 4	
Heizwärmebedarf	75 kWh/(a*m <sup>2</sup> )	
Wärmebedarf Warmwassererzeugung	937 kWh/(a*Person)	
Investition Wärmeleitung	375 €/m	
Wärmeerlös	60 €/MWh	
Strombedarf für die Wärmeverteilung (Pumpstrom)	4 kWh <sub>el</sub> /MWh <sub>th</sub> ab Hausübergabestation	
<b><i>Nahwärmenetz mit Pufferspeicher</i></b>		
Länge <i>Nahwärmenetz mit Pufferspeicher</i>	300 m	900 m
Anzahl Gebäude <i>Nahwärmenetz mit Pufferspeicher</i>	20	57
Nahwärmebedarf ab Hausübergabestation	345 MWh	980 MWh
Anschlusswärmedichte	1,15 MWh/m	1,09 MWh/m
Anteil am Abwärmepotenzial der BHKW-Abwärme	30 %	
<b><i>Nahwärmenetz mit saisonalem Speicher</i></b>		
Länge <i>Nahwärmenetz mit saisonalem Speicher</i>	600 m	1.800 m
Anzahl Gebäude <i>Nahwärmenetz mit saisonalem Speicher</i>	48	135
Nahwärmebedarf ab Hausübergabestation	828 MWh	2.328 MWh
Anschlusswärmedichte	1,38 MWh/m	1,29 MWh/m
Anteil am Abwärmepotenzial der BHKW-Abwärme	70 %	

Tabelle 5-1: Kenndaten für die Konzepte der Nahwärmeversorgung. Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang 13.4.



### 5.3 Nahwärmenetzkonzept mit Pufferspeicher

Mit der Abwärme der 150 kW<sub>el</sub> Biogas-Referenzanlage können 20 Einfamilienhäuser einer Neubau-Wohnsiedlung versorgt werden. Mit der 500 kW<sub>el</sub> Biogas-Referenzanlage können etwa 57 Einfamilienhäuser versorgt werden. Zum Ausgleich von Lastspitzen im Tagesgang und zur Überbrückung von kurzen Ausfallzeiten des BHKW wird ein Pufferspeicher für etwa 24 Stunden Versorgung am BHKW-Standort vorgesehen. Dieser bietet genug Kapazität, um die Wärmeabnehmer bei Ausfall des BHKWs solange zu versorgen, bis ein mobiler Reserveheizkessel bereitsteht.

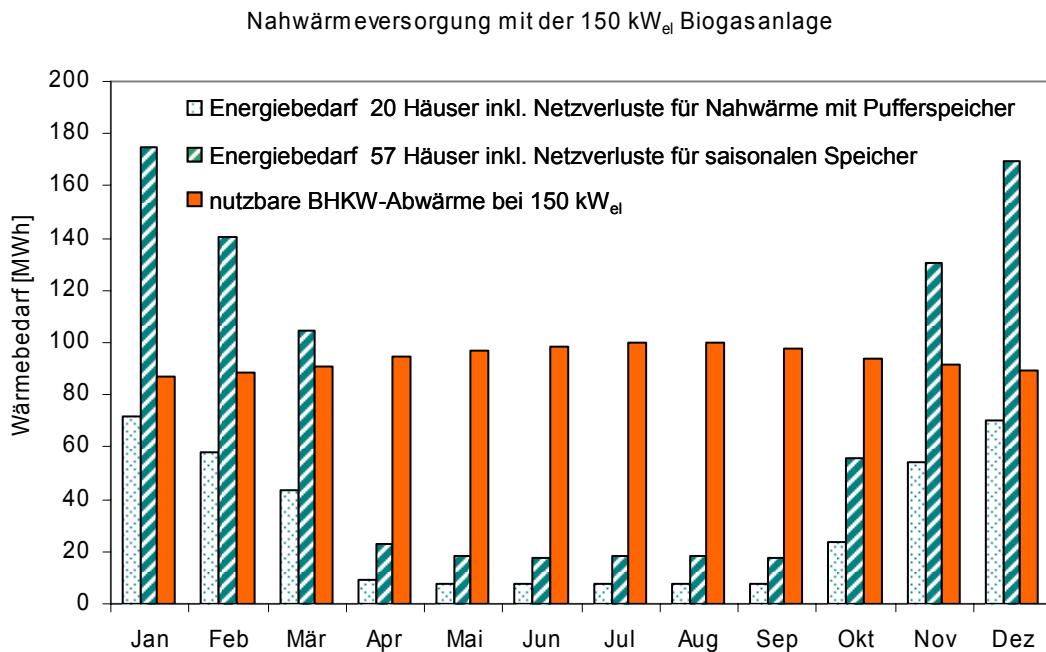


Abbildung 5-2: Bedarf von 20 und 57 Häusern und Abwärmeeinfall am 150 kW<sub>el</sub> BHKW

### 5.4 Nahwärmenetzkonzept mit saisonalem Speicher

Mit einem saisonalem Speicher können mit der 150 kW<sub>el</sub> Biogas-Referenzanlage etwa 48 Einfamilienhäuser und mit der 500 kW<sub>el</sub> Biogas-Referenzanlage 135 Einfamilienhäuser versorgt werden. Die Wärmebedarfsdeckung ist in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

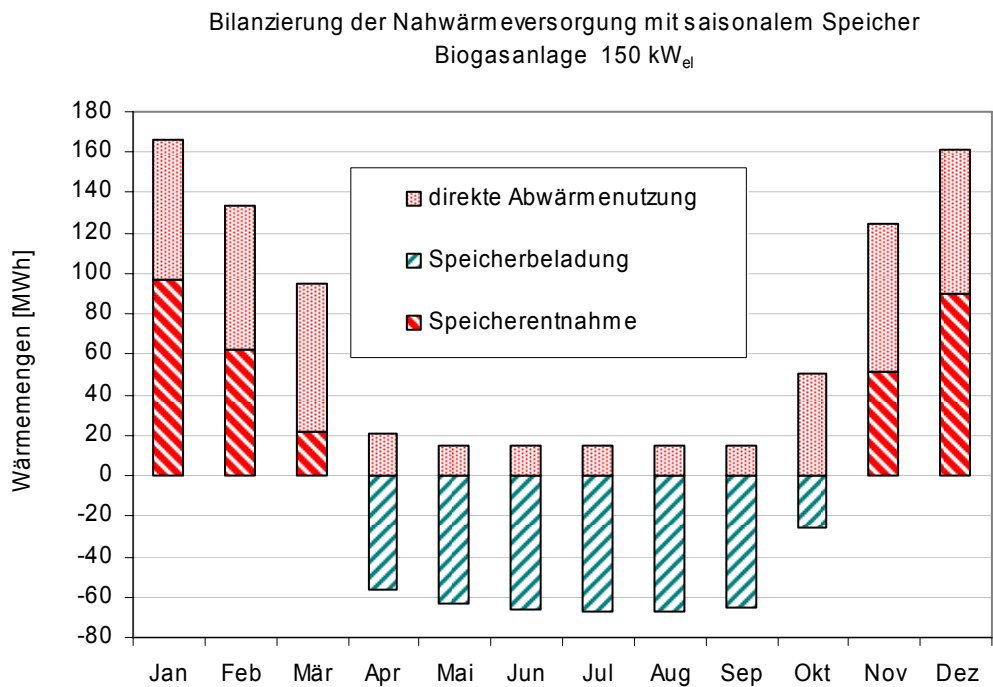


Abbildung 5-3: Nahwärmeversorgung von 48 Häuser mit einem saisonalem Speicher

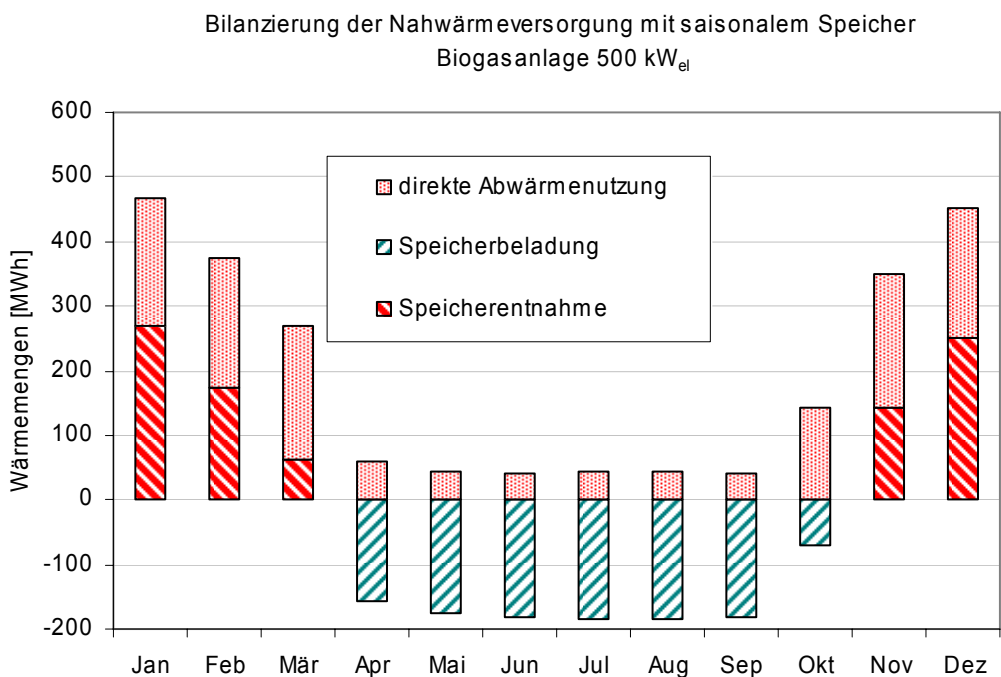


Abbildung 5-4: Nahwärmeversorgung von 135 Häuser mit einem saisonalem Speicher

Ein Erdwärmesondenspeicher besteht aus einer Anzahl von Sonden in einer definierten geometrischen Anordnung. Die einzelnen Sonden werden aus U-förmigen Rohren gefertigt, die in vertikale Bohrlöcher eingelassen und mit Verfüllmaterial ummantelt werden. Im Betrieb werden sie von einem Wärmeträgermedium (Wasser-Glykol-Gemisch) durchströmt. Die Rohre dienen als Wärmeübertrager. Die Abwärme des BHKW wird in den Erdboden eingespeichert. Bei der Entladung im Winter wird die gespeicherte

Wärme dem Erdboden entnommen. Zusätzliche Wärmepumpen können auch niedrigere Temperaturniveaus im Speicher nutzbar machen.

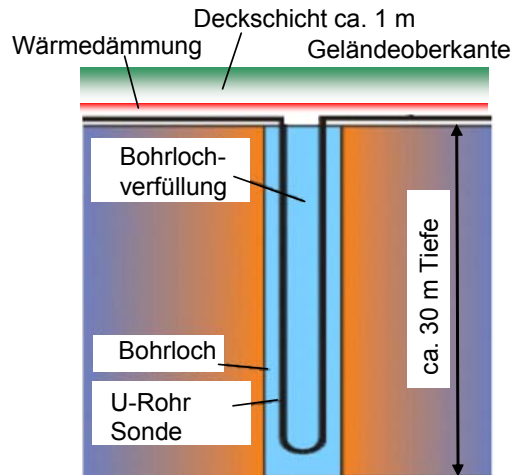


Abbildung 5-5: Aufbau eines saisonalen Erdwärmesondenspeichers. Dargestellt ist eine Erdsonde.

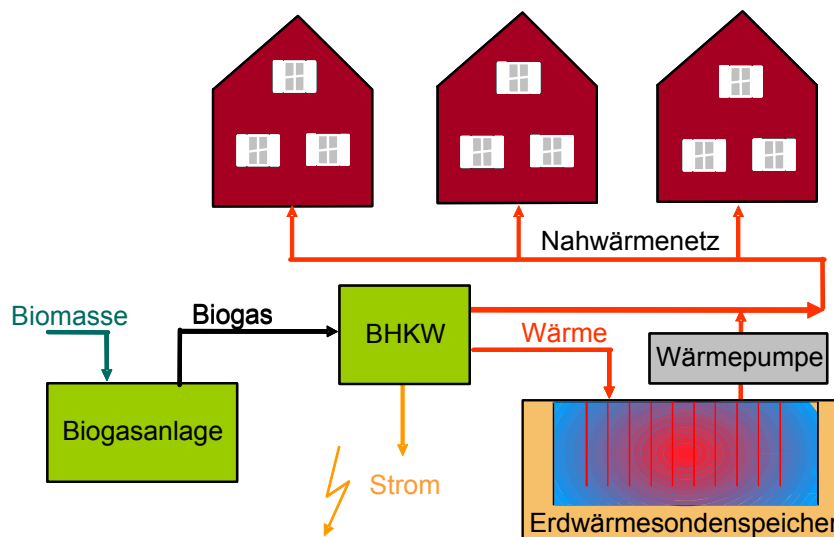


Abbildung 5-6: Prinzipschema einer Nahwärmeversorgung mit saisonalem Erdwärmesondenspeicher

Die wichtigsten geologischen Eigenschaften für die Auslegung eines Erdwärmesondenspeichers sind die Wärmeleitfähigkeit und die volumenspezifische Wärmekapazität. Bei hoher Wärmeleitfähigkeit können eine geringere Wärmeübertragerfläche und größere Abstände zwischen den Sonden gewählt werden. Eine höhere Wärmekapazität bewirkt einen besseren Speichernutzungsgrad (siehe Tabelle 13-37).

Bei den drei ausgewählten Standorten Granit-Bayerischer Wald, Sandstein-Spessart und wassergesättigtes Lockergestein-Hallertau fällt der Speicher im Bayerischen Wald am kleinsten aus, da Granit eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit aufweist. Der Untergrund mit Lockergestein-Hallertau hat zwar eine geringere Wärmeleitfähigkeit als die anderen Standorte, erzielt aber durch die hohe volumenspezifische Wärmekapazität einen besseren Speichernutzungsgrad als die beiden anderen Standorte. Die erhöhte Wärmekapazität ergibt sich aus dem hohen Wasseranteil im Untergrund. Die Ergebnisse für die verschiedenen Böden sind im Anhang Abschnitt 13.4 dargestellt.

Die Gesamtinvestitionen variieren bei einem saisonalem Speicher mit dem Untergrund. Tendenziell sind die Kosten bei Granit (Bayerischer Wald) geringer und bei Sandstein (Spessart) höher im Vergleich zum

Lockergestein. Kalksteinböden, wie sie zum Beispiel in der Schwäbischen und Fränkischen Alb sind aufgrund von Verkarstung für einen Erdwärmesondenspeicher nicht geeignet.

Ein Optimierungsansatz für die saisonale Wärmespeicherung im Zusammenhang mit einer Biogasanlage stellt die thermophile Prozessführung mit Fermentertemperaturen im Bereich von 45–55°C dar. Folgende Verbesserungen sind möglich: kürzere Verweilzeit der Substrate im Fermenter, höhere Gasleistung, verbesserte Hygiene, exaktere Regelung. Die kürzere Verweilzeit reduziert die Fermentergröße und verringert Anlagenkosten. Dieser Einsparung steht ein erhöhter Wärmebedarf für das Aufheizen der Substrate sowie für den Fermenter gegenüber.

Es wird eine spezielle Anlagenkonfiguration vorgeschlagen, in der der Fermenter in das Erdreich eingelassen wird. Um den Fermenter herum wird der saisonale Wärmespeicher errichtet. Speicherwärmeverluste dienen zur Fermenterbeheizung und Wärmeverluste über die Fermenterhülle werden zum Teil vom saisonalen Speicher aufgenommen. Eine Anlage dieser Bauform wurde bisher jedoch noch nicht realisiert, sodass praktische Erfahrungen nicht vorliegen.

### 5.5 Wirtschaftlichkeit der Nahwärmekonzepte

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Kosten der Hausübergabestationen (jeweils 5.000 €) als Anschlussgebühr der Abnehmer angenommen. Eine Förderung wird nicht berücksichtigt. Für den Untergrund des saisonalen Speichers wird Lockergestein als Boden mit mittleren Investitionskosten, der auch am häufigsten von den Beispieluntergründen in Bayern vertreten ist, für die Berechnung ausgewählt.

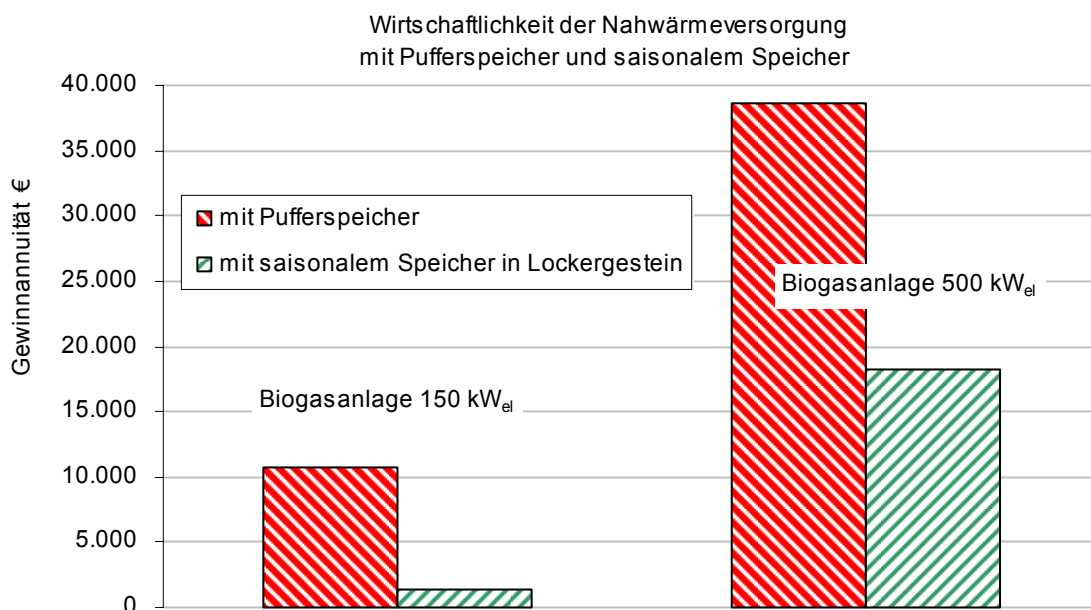


Abbildung 5-7: Gewinnannuität der Nahwärmeversorgungskonzepte mit und ohne saisonale Speicherung bei einem Wärmeerlös von 60 €/MWh. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

Ein saisonaler Speicher kann die Gewinnannuität nicht erhöhen. Die Nahwärmeversorgung mit dem Kurzzeit-Pufferspeicher ist wirtschaftlich günstiger. Bei den großen Anlagen ist die Wirtschaftlichkeit der saisonalen Wärmespeicherung auch stark vom Untergrund abhängig. Die Abhängigkeit des Gewinns bei Beibehaltung des Anschlusskostenbeitrages ist in der nachfolgenden Sensitivitätsanalyse dargestellt.

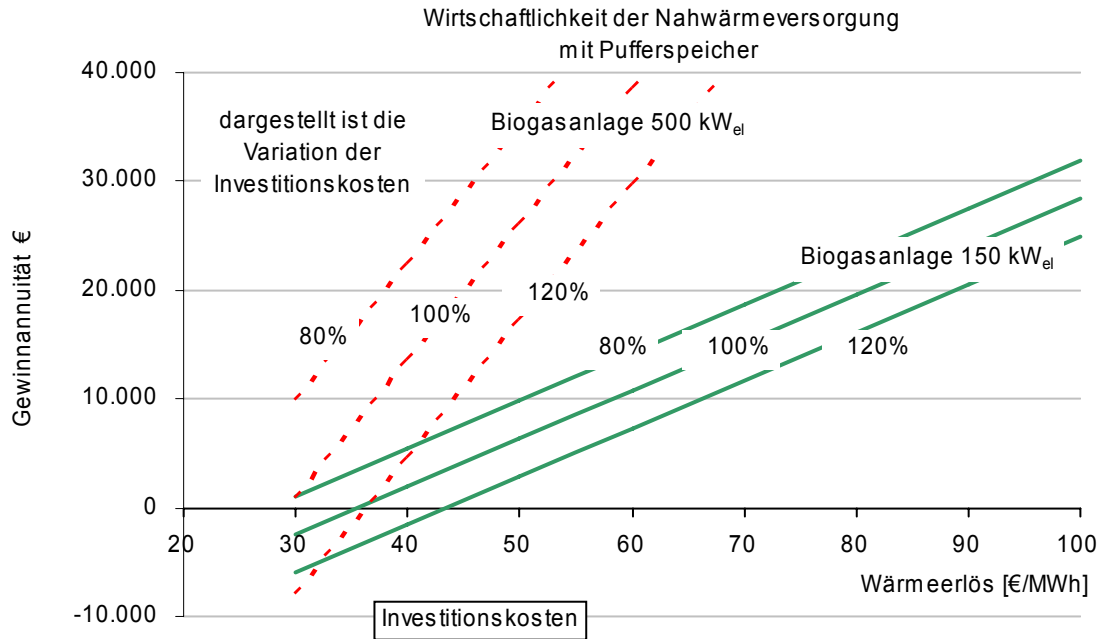


Abbildung 5-8: Gewinnannuität der Nahwärmeversorgungskonzepte mit Pufferspeicher in Abhängigkeit vom Wärmeerlös und Investition. Variiert werden die Investitionen (80 %, 100 %, 120 %).

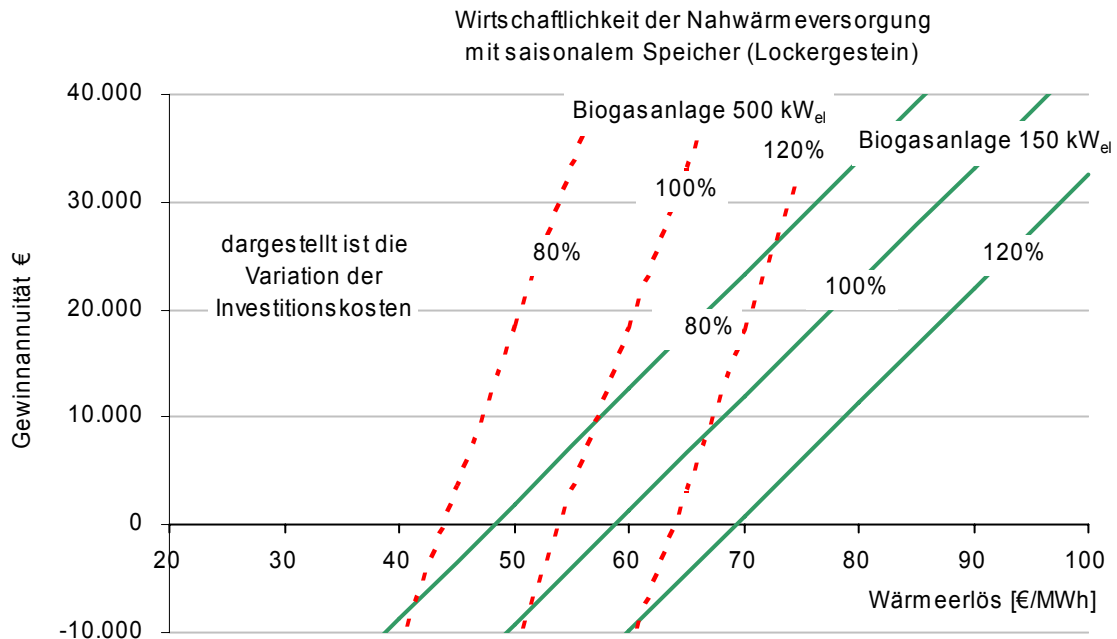


Abbildung 5-9: Gewinnannuität der Nahwärmeversorgungskonzepte mit saisonaler Speicherung in Lockergestein in Abhängigkeit vom Wärmeerlös und Investition (80 %, 100 %, 120 %).

Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus. Für die beim Neubau erzielbaren Wärmepreise gibt Tabelle 13-3 eine Orientierung.

Lesebeispiel:

Nahwärmekonzept mit saisonaler Speicherung: Bei einem Wärmeerlös von 50 €/MWh ergibt sich bei der 500 kW<sub>el</sub> Biogasanlagen mit 100 % Investitionskosten aufgrund des Wärmeverkaufs und KWK-Bonus eine Gewinnannuität von ca. -10.000 €. Für die 150 kW<sub>el</sub> ergibt sich ein ähnlicher Wert. Bei 60 €/MWh und 100 % der Investitionskosten ergibt sich bei 500 kW<sub>el</sub> ein Wert von etwa +20.000 €

## 6 WÄRMEVERSORGUNG MIT MOBILEN SPEICHERN– VARIANTE 3

### 6.1 Einführung und Stand der Technik

#### *Einführung*

Eine leitungsgebundene Wärmeversorgung wird bei großen Entfernungen zwischen BHKW und Wärmeabnehmer aufgrund der hohen Nahwärmeleitungskosten unwirtschaftlich. Ab einer Entfernung von etwa einem Kilometer kann als Alternative die Lieferung von Energie über ein straßengebundenes mobiles Speicherkonzept in Betracht kommen. Ein mobiler Speichercontainer wird beim BHKW aufgeladen, per LKW zum Wärmeabnehmer transportiert und dort an ein Heiz- oder Kühlsystem angeschlossen. Für mobile Anwendungen kommen verschiedene Speichersysteme in Betracht, von denen vier etwas näher untersucht werden.

Bei Betrachtung der technischen Rahmenbedingungen Speicherdichte, Investitions- und Logistikkosten zeigt sich, dass nur einige der betrachteten Konfigurationen wirtschaftlich nutzbar sind.

Für die 150 kW<sub>el</sub> Biogasanlagen ist bei ausschließlicher Wärmelieferung über Latentwärmespeicher selbst mit günstigen Randbedingungen und Vergütung keine Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

Für die 500 kW<sub>el</sub> Anlagen ist die Wärmelieferung über Latentwärmespeicher eine interessante Variante, die bis 30 km Entfernung des Abnehmers einen wirtschaftlichen Betrieb ermöglicht.

Das Sorptionssystem auf Zeolithbasis erweist sich als vorteilhaft, wenn ein Nutzer mit simultanem Bedarf für Wärme und Luftentfeuchtung (z. B. Hallenbad) oder zur Trocknung von Gütern vorhanden ist. Alle Systeme sind allerdings an günstige Bedingungen, vor allem hinsichtlich Temperaturniveau und Auslastung gebunden. Wichtige Parameter bei der Anwendung mobiler Speicher sind die Speicherdichte und die Nutztemperatur. Neben dem Speichermaterial sind auch die technische Realisierung des mobilen Containers sowie die Modalitäten des Anschlusses an Wärmequelle und -abnehmer relevant.

#### *Stand der Technik*

Ziel ist ein möglichst großer Energieinhalt des Speichers, um ein günstiges Verhältnis zwischen transportierter Energiemenge und Transportaufwand zu erzielen. Konkret untersucht werden im Folgenden:

- **Latentwärmespeicher**, bei denen die Schmelzwärme eines Phasenwechselmaterials, meist Salzhydrate, genutzt wird (Phase Change Material = PCM).
- **Thermochemische Speicher (Zeolithspeicher)** auf der Basis von Zeolith, auch Molekularsieb genannt, bei denen die Adsorption und Desorption von Wasserdampf genutzt wird.

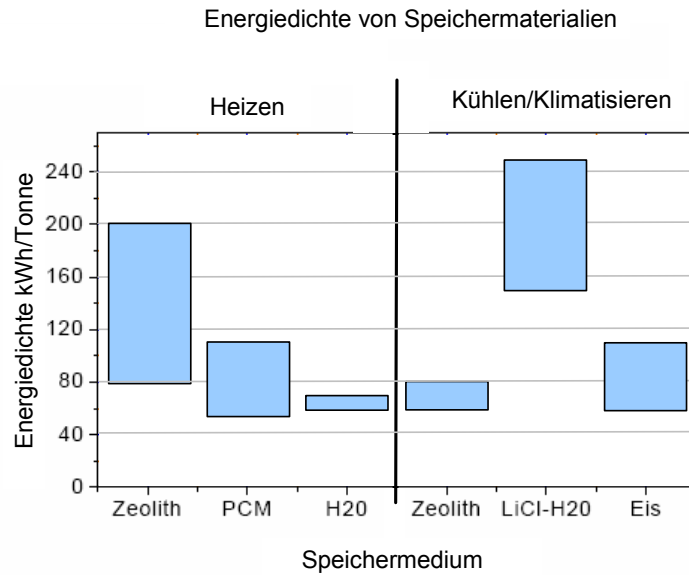


Abbildung 6-1: Energiespeicherdichten verschiedener Materialien

### Latentwärmespeicher

Bei Latentwärmespeichern kommen Materialien zum Einsatz, deren Schmelzpunkt bei der gewünschten Heiztemperatur liegt. Beim Aufschmelzen nimmt ein PCM Wärmeenergie auf (vgl. zum Schmelzen von Eis), die beim Erstarrungsvorgang wieder abgegeben wird. Auf diese Weise können im Temperaturintervall um den Schmelzpunkt deutlich höhere Energiespeicherdichten erzielt werden als mit üblichen Warmwasserspeichern. In Abbildung 6-2 ist dieser Vorgang dargestellt.

Die beim Phasenübergang frei werdende bzw. benötigte Wärme wird latente Wärme genannt. Die Wärme zum Erwärmen eines Mediums ohne dabei auftretende Phasenänderung wird sensible Wärme genannt.

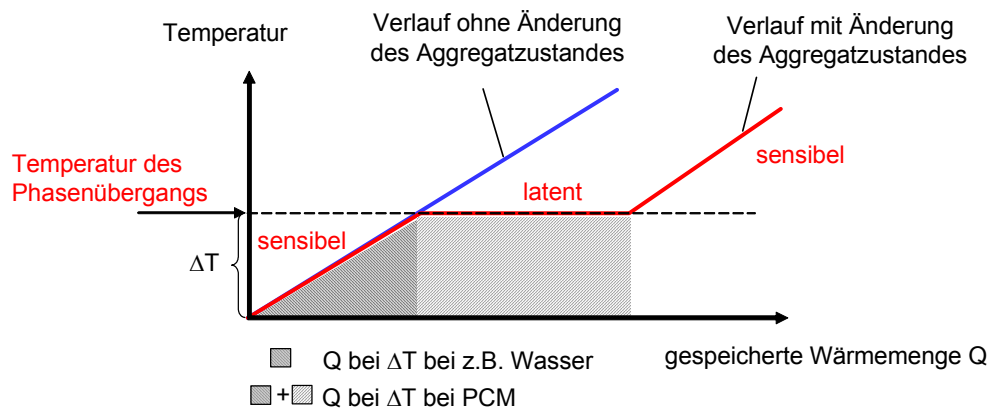


Abbildung 6-2: Speicherbare Wärmemenge bei sensibler und latenter Wärmespeicherung

Idealerweise nutzt eine entsprechende Anwendung sowohl den Wärmeinhalt des Abgasstromes als auch das Mantelkühlwasser des Gasmotors zur Speicherbeladung. Dazu muss die Schmelztemperatur des gewählten PCMs unter den 90 °C des Heizwasserkreislaufs des BHKW liegen. Um eine gute Leistungseinkopplung zu erzielen, sollte zusätzlich eine treibende Temperaturdifferenz von mindestens 10 K vorhanden sein. Auch beim Entladevorgang ist eine Temperaturdifferenz von 10 K erforderlich, um einen guten Wärmeübergang zu erzielen und Unterkühlungseffekte beim Erstarrungsvorgang auszuschließen.

Für die Nutzung in Brauchwarmwasser- und Niedertemperaturheizungssystemen mit einer Vorlauftemperatur von etwa 45 °C ist eine Schmelztemperatur von 55 °C oder darüber zulässig.

Angeboten werden zahlreiche Materialien für Latentwärmespeicher mit unterschiedlichsten Phasenübergangstemperaturen [Zalba, 2003]. Von mobilen Latentwärmespeichern für Heizanwendungen existieren wenige Demonstrationsprodukte, bei denen die technischen Probleme teilweise gelöst wurden. Beispiele sind von TransHeat [TransHeat, 2005] und Schneider [Schneider, 2005] bekannt. Beide Systeme basieren auf dem Speichermaterial Natriumacetat-Trihydrat mit einem Schmelzpunkt bei 58 °C. Der Unterschied besteht in der technischen Ausführung des Speichers.

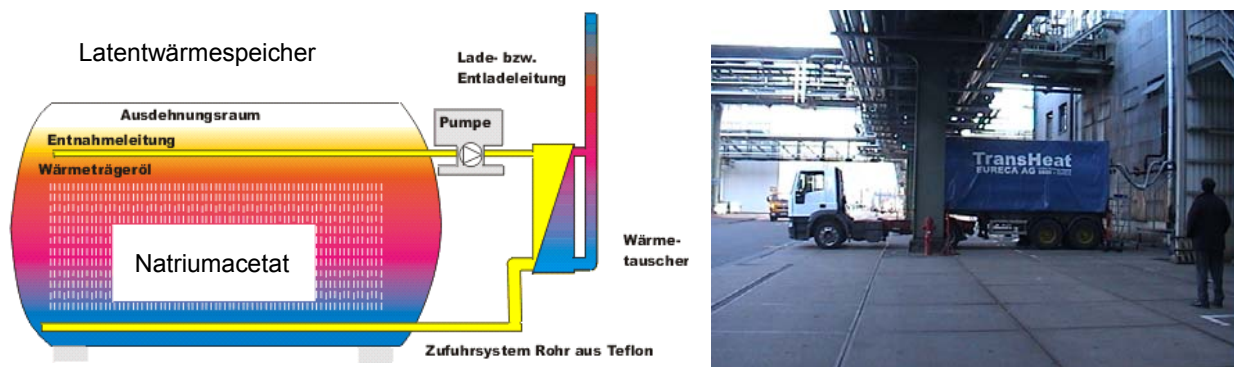


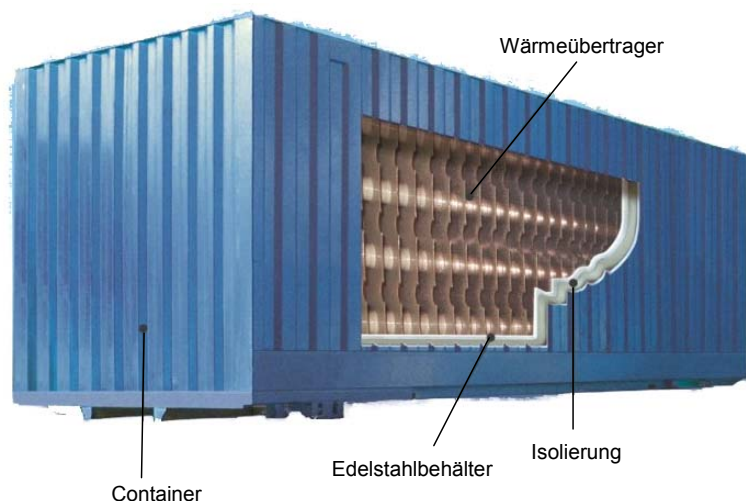
Abbildung 6-3: Prinzip des Latentwärmespeichers der Firma TransHeat (Quelle TransHeat)

**TransHeat** verwendet ein System, bei dem das Latentspeichermaterial Natriumacetat-Trihydrat in direktem Kontakt mit einem Wärmeträgeröl steht. Über einen Wärmeübertrager wird das Wärmeträgeröl erwärmt und von unten durch das Salzhydrat gepumpt. Wärmeträgeröl und Natriumacetat treten in direkten Kontakt, mischen sich jedoch nicht. Dadurch wird ein guter Wärmeübergang gewährleistet.

TransHeat bietet zusätzlich einen Latentwärmespeicher mit höherem Temperaturniveau auf der Basis von Bariumhydroxid an. Der Schmelzpunkt dieses PCMs liegt bei 78 °C. Die ätzenden und gesundheitsgefährdenden Eigenschaften dieses Materials erfordern allerdings eine besondere Anlagenausführung.

Das Unternehmen **Schneider** vertreibt eine Latentspeicher-Eigenentwicklung, bei welcher ein Wärmeübertrager im Speicher installiert ist. Auf diese Weise werden das Speichermedium Natriumacetat-Trihydrat und das Wärmeträgeröl räumlich getrennt sowie die Pumpe für den Wärmeträgerkreislauf eingespart.

Abbildung 6-4: Latentwärmespeicher der Firma Schneider (Quelle: Schneider)





### Thermochemische Speicherung mit Zeolithen (Adsorptionsspeicher)

Zeolithe bestehen aus mineralischen Alumo-Silikaten. Die besondere Eigenschaft des Zeoliths besteht in der nanoporösen Struktur, durch die das Material eine sehr große innere Oberfläche bietet, an die sich Wasserdampf anlagern kann (Adsorption). Im Speichercontainer befindet sich das Zeolith in Form einer Granulatschüttung.

Der Ladevorgang (Energiespeicherung im Zeolith) beruht darauf, das Zeolith zu trocknen. Zu diesem Zweck wird möglichst trockene Außenluft erhitzt, durch die Schüttung geblasen und damit Wasser von der Zeolithoberfläche desorbiert. Die erforderliche Desorptionsenergie wird aus dem Luftstrom entnommen. Der Luftstrom tritt kühler und im Idealfall wasserdampfgesättigt aus dem Speicher aus. Der erreichbare Grad der Trocknung - und damit die Speicherdichte - hängt vom zur Verfügung stehenden Temperaturniveau ab. Erforderlich ist eine Desorptionstemperatur von etwa  $T_{\text{Des. Luft warm}} \geq 130 \text{ °C}$  bis etwa  $250 \text{ °C}$ .

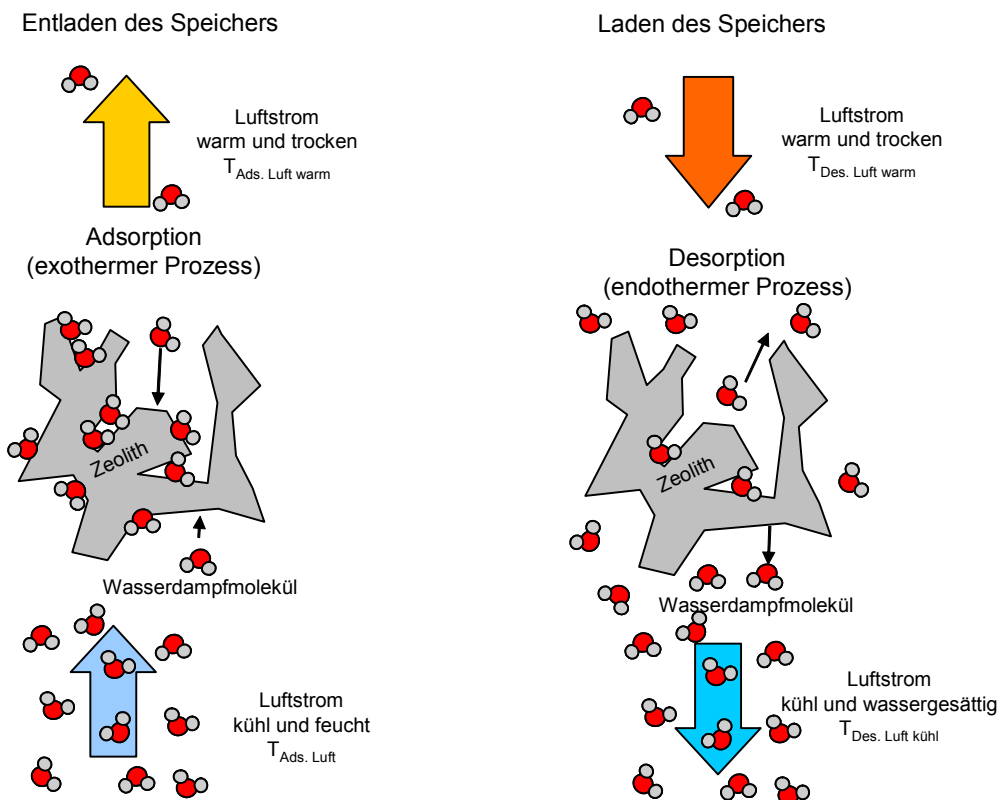


Abbildung 6-5: Funktion eines Zeolithspeichers, links Energieentnahme, rechts Energiespeicherung

Die Energieentnahme aus dem Zeolithspeicher erfolgt mit feuchter, möglichst wassergesättigter Luft. Der in der Luft enthaltene Wasserdampf bindet sich beim Durchgang durch die Zeolithschüttung an die internen Oberflächen des Zeoliths und gibt Adsorptionswärme frei. Die Luft tritt heißer und getrocknet aus dem Speicher aus.

Die erreichbare Heiztemperatur wird von der Desorptionstemperatur und der Temperatur der Zuluft bestimmt (je höher, desto besser). Mit Nutzung einer Niedertemperatur-Wärmequelle (Abluft, Abwasser) für die Vorwärmung der Zuluft auf beispielsweise  $T_{\text{Ads. Luft}} = 25 \text{ °C}$  können Temperaturen von  $T_{\text{Ads. Luft warm}} = 85 \text{ °C}$ , mit  $T_{\text{Ads. Luft}} = 30 \text{ °C}$  etwa  $T_{\text{Ads. Luft warm}} = 110 \text{ °C}$  erreicht werden. Höhere Temperaturen sind möglich, wenn die wasserdampfgesättigte Zuluft wärmer ist.

Die Temperaturen liegen deutlich über denen eines Latentwärmespeichers mit Natriumacetat-System. Die erzeugte heiße Luft kann in ein Heizungssystem eingespeist oder direkt für Trocknungsprozesse

verwendet werden. Nach Abkühlung auf Umgebungstemperatur kann auch Wasser in die Luft eingedüst werden und die Luft zur Raumklimatisierung verwendet werden.

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der Sorptionstechnik gegenüber herkömmlichen Wärmespeichern ist die Verwendung von Luft als Wärmeträgermedium. Die heiße und getrocknete Luft aus dem Adsorptionsprozess kann besonders für Trocknungsprozesse genutzt werden. Sehr gut anwendbar ist diese Technik bei der Raumluftbeheizung von Hallenbädern oder für die industrielle Trocknung.

Auch eine Nutzung des Speichersystems für Klimatisierungszwecke ist möglich. In die heiße und getrocknete Luft aus dem Adsorptionsprozess wird Wasser eingedüst (Verdunstungskühlung) und so Kaltluft für Klimaanlage erzeugt. Durch die vergleichsweise geringe Energiespeicherdichte von Zeolithen liegen die Kältgestehungskosten allerdings über denen üblicher Kältebereitungsverfahren.

Ein weiterer Vorteil der adsorptiven Energiespeicherung ist, dass geringe Verluste durch Abkühlung auftreten, da der Speichereffekt lediglich an den Wassergehalt des Granulats und die physikalische Adsorption und Desorption gebunden ist.

Beim Betrieb von Zeolithspeichern muss beachtet werden, dass die Temperatur der nutzbaren Abwärme auf einem Niveau von  $T_{\text{Des. Luft warm}} \geq 130 \text{ °C}$  liegen muss, um ausreichende Speicherdichten zu erreichen. Bei einem BHKW-Motor bedeutet dies, dass nahezu nur der Abgasstrom als Abwärmequelle verwendbar ist. Zeolithspeicher können daher nur mit der Abgaswärme des BHKW beladen werden. Beim Betrieb von Latentwärmespeichern ist dagegen ein Abwärmenniveau von  $T_{\text{Des. Luft warm}} \geq 70\text{--}90 \text{ °C}$  ausreichend, sodass somit auch die Wärme der Motor- und Ölkühlung nutzbar ist.

Nachteilig beim Betrieb von Zeolithspeichern ist, dass im BHKW-Abgas enthaltene Partikel die Poren des Zeoliths verstopfen können und Schwefeldioxid in Verbindung mit dem an die inneren Oberflächen gebundenen Wasser Schwefelsäure bildet, wodurch die Speicherdichte beeinträchtigt wird. In der Praxisanwendung ist voraussichtlich ein Abgaspartikelfilter und eine verstärkte Entschwefelung oder alternativ ein Wärmeträgerkreis zwischen Abgas und Luftstrom des Speichers erforderlich.

Angeboten werden zahlreiche Materialien für Sorptionsspeicher. Eine Alternative zu Zeolithen sind Silikagel. Derzeit sind Zeolith- oder Silikagelspeicher kommerziell noch nicht erhältlich. Das Unternehmen Kronauer Sorptionstechnik verfolgte jahrelang die Speichertechnik mit Silikagel. Silikagel hat den Nachteil, dass nur ein geringer Temperaturhub erreicht wird. Bei dem Produkt handelt es sich bisher um reine Entfeuchtungs- und Klimatisierungsanwendungen. Dennoch belegen diese Erfahrungen die prinzipielle Marktreife der Technik. Das Unternehmen Kronauer Sorptionstechnik existiert als Anlagenbauer heute nicht mehr. Der neue Eigentümer bietet derzeit nur Ingenieurdienstleistungen an.

Am ZAE Bayern ist die Anwendung von Zeolithen als Speichermaterial in stationären und mobilen Anlagen Gegenstand aktueller F&E-Vorhaben. Eine rasche Produkteinführung mobiler Speicher auf der Basis von Zeolith ist aufgrund wirtschaftlicher und technischer Rahmenbedingungen derzeit nicht zu erwarten.

## 6.2 Randbedingungen für die mobilen Speicherkonzepte

### *Latentwärmespeicher*

Für den Natriumacetat (NaAc)-Latentwärmespeicher beträgt die jeweils benötigte Zeit, um den Latentwärmespeicher mit der Abwärme der Biogas-Referenzanlagen zu beladen zwischen 8 und 24 Stunden.

Beim Schneider-System übertrifft die Abwärmeleistung der 500 kW<sub>el</sub> Anlage die Übertragungsleistung des im Latentwärmespeicher integrierten Wärmeübertragers. Das wirkt sich limitierend auf den Nutzungsgrad der Abwärme aus. Für das TransHeat-System ist Ähnliches zu vermuten, allerdings sind auf

Anfrage keine Daten zur Leistung der Wärmübertragung zu erhalten. Der Direktkontakt von PCM und Wärmeträgeröl ist beim TransHeat-System jedoch von Vorteil.

Ladezeit	TransHeat Latentwärmespeicher	Schneider Latentwärmespeicher
150 kW <sub>el</sub>	24 h	21 h
500 kW <sub>el</sub>	8 h	9 h

Tabelle 6-1: Ladezeiten für den Latentwärmespeicher mit den Biogas-Referenzanlagen (Herstellerdaten)

Kenndaten zu den Natriumacetat-Latentwärmespeichern finden Sie im Anhang 13.5, Tabelle 13-43.

### **Zeolithspeicher**

Zeolithspeicher sind derzeit kommerziell noch nicht erhältlich. Da der mobile Zeolithspeicher ein Potenzial zur Umsetzung hat, werden Zeolithspeicher für diese Machbarkeitsstudie trotzdem mit den Latentwärmespeichern verglichen. Die Auslegung und Berechnung erfolgt auf Basis von Ergebnissen aus F&E-Projekten.

Beim Zeolithspeicher wird ein Wärmeübertrager zwischen Abgas- und Luftstrom angenommen. Die resultierenden Ladezeiten betragen, bedingt durch die verminderte Wärmemenge auf dem notwendigen Temperaturniveau zwischen 30 und 90 Stunden.

Ladezeit	Zeolith- wärmespeicher
150 kW <sub>el</sub>	ca. 90 h
500 kW <sub>el</sub>	ca. 30 h

Tabelle 6-2: Ladezeiten für den Zeolithspeicher mit den Biogas-Referenzanlagen. Kenndaten des Zeolithspeichers finden Sie im Anhang 13.5, Tabelle 13-44.

## **6.3 Wirtschaftlichkeit der mobilen Speicherkonzepte**

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wird davon ausgegangen, dass ein bis zwei einzelne Wärmeabnehmer vorhanden sind, deren Energie- und Leistungsbedarf über mobilen Speicher mit der jeweiligen Biogas-Referenzanlage gedeckt werden kann. Die geringe Entladeleistung des Schneider-Systems (siehe Tabelle 13-43) erfordert im Gegensatz zum Transheat-System mindestens drei Container und zwei Abnehmer zur Ausnutzung der Wärme. Beim Zeolithspeicher und TransHeat-System werden zwei Container und ein Abnehmer angenommen.

Der Zeolithspeicher kann nur mit Abgaswärme  $\geq 130^\circ\text{C}$  beladen werden, während die Latentwärmespeicher auch die Wärme der Motor- und Ölkühlung nutzen können.

Ein Container wird jeweils mit Abwärme beladen während der zweite Container gleichzeitig entladen wird. Für den Transport zum Wärmeabnehmer ist die Anschaffung eines LKW berücksichtigt. Als einfache Entfernung der Abnehmer zur Biogasanlage werden 10 km angenommen.

Als Nutzungsgrad der mobilen Speicher werden 6.000 Vollastbenutzungsstunden der Ladestation angenommen. Entsprechend den Ladezeiten ergibt sich eine mögliche Anzahl an Ladezyklen und nutzbare Energie.

Die Investitionen für die Wärmeabnahmestation beim Verbraucher werden bei den mobilen Speicherkonzepten als Anschlussgebühr berücksichtigt.

System	Zeolithspeicher	TransHeat Latentwärmespeicher	Schneider Latentwärmespeicher
Entfernung einfach	10 km	10 km	10 km
Wärmeerlöse	45 €/MWh	45 €/MWh	45 €/MWh

Tabelle 6-3: Investition und Wärmeerlöse für mobile Speichersysteme

Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang 13.5.

In Tabelle 6-4 sind die Jahresenergiemengen aufgeführt, die ein Einzelverbraucher über den mobilen Speicher abnehmen kann. Die Wärmauskopplung kann nur erhöht werden, wenn die Vollbenutzungsstunden erhöht werden. Weitere Container bringen keinen weiteren Vorteil, da die Biogasanlage aufgrund der begrenzten Abwärmeleistung nicht gleichzeitig zwei Container laden kann.

System / Anwendung	Energie bei 150 kW <sub>el</sub> [MWh/a] und Anteil in [%] am Abwärmepotenzial		Energie bei 500 kW <sub>el</sub> [MWh/a] und Anteil in [%] am Abwärmepotenzial	
	Zeolithspeicher heizen	265 MWh	24 %	805 MWh
Zeolithspeicher heizen und trocknen	378 MWh	34 %	1.148 MWh	34 %
Zeolithspeicher klimatisieren	135 MWh	12 %	417 MWh	12 %
TransHeat, Latentwärmespeicher heizen	670 MWh	60 %	1.824 MWh	55 %
Schneider, Latentwärmespeicher heizen	670 MWh	60 %	1.500 MWh	45 %

Tabelle 6-4: Lieferbare Energiemenge und Ausnutzung des Abwärmepotenzials der BHKW-Abwärme

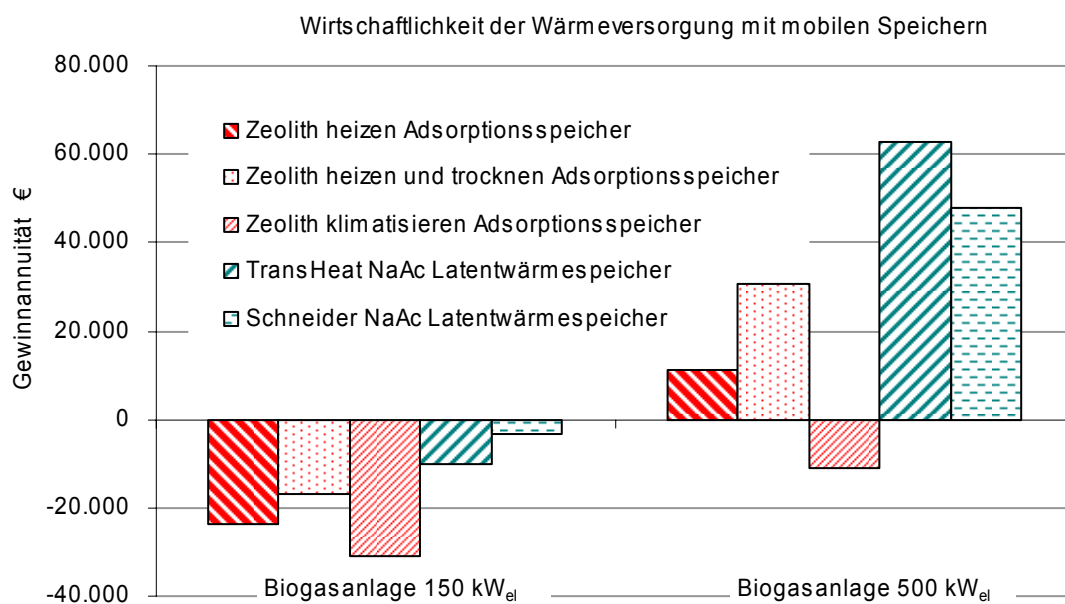


Abbildung 6-6: Gewinnannuität der mobilen Wärmespeicherkonzepte bei einem Wärmeerlös von 45 €/MWh, einfache Entfernung 10 km, NaAc ... Natriumacetat. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

Die mit der mobilen Wärmelieferung erzielbaren Wärmeerlöse hängen sehr vom jeweiligen Abnehmer ab. Die für eine Kostendeckung mindestens notwendigen Wärmeerlöse sind in Abbildung 6-7 dargestellt.

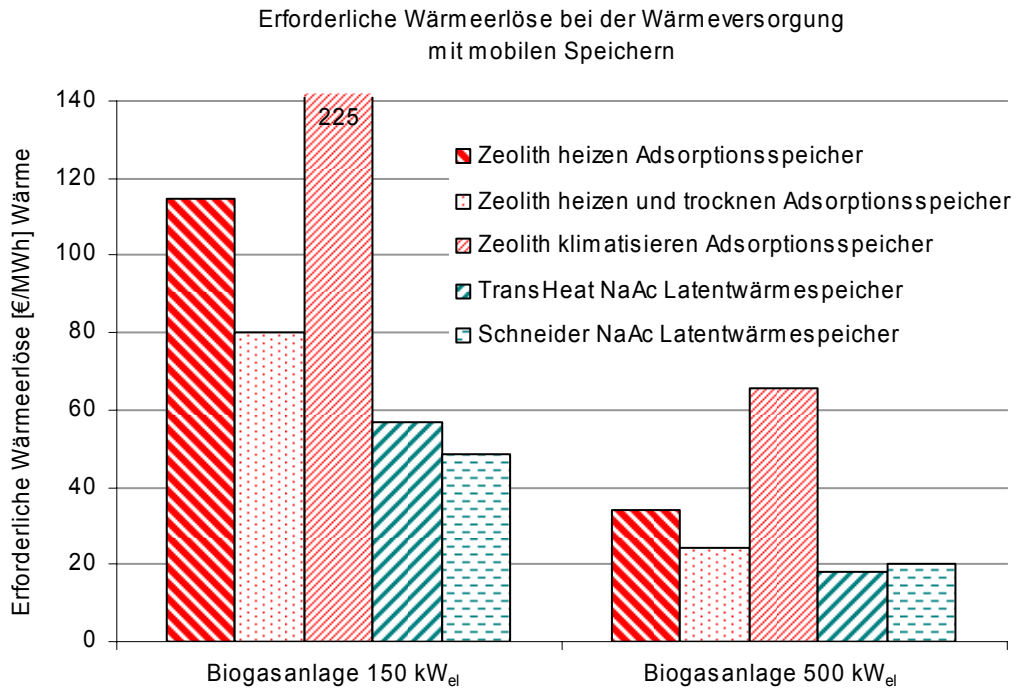


Abbildung 6-7: Mindestens notwendige Wärmeerlöse bei Nutzung der mobilen Speicherkonzepte und Abwärmenutzung der Biogas-Referenzanlagen, einfache Entfernung 10 km, NaAc ... Natriumacetat. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

Zeolithspeicher verursachen aufgrund der geringen nutzbaren Wärmemenge im Vergleich zu den Latentwärmespeichern höhere erforderliche Wärmeerlöse. Die lange Beladungszeit reduziert zudem wesentlich die Anzahl der Ladezyklen. Die bei Latentwärmespeicherkonzepten erforderlichen Wärmeerlöse sind bei den 500 kW<sub>el</sub> Anlagen akzeptabel und auf dem Markt realisierbar.

Ein Sorptionssystem auf Zeolithbasis ist vorteilhaft, wenn gleichzeitig damit geheizt wird und eine Trocknung, beispielsweise eine Luftentfeuchtung im Hallenbad oder eine Produkttrocknung, durchgeführt wird.

Der Wärmebedarf einer Schwimmhalle zur Luftentfeuchtung liegt bei mittlerer Hallengröße bei etwa 1.300 MWh/a [Braun, 2000]. Diese Energie kann die Anlage mit 500 kW<sub>el</sub> über einen Zeolithspeicher zur Verfügung stellen. Die am BHKW anfallende Wärme vom Ölkühler- und Motorkühler mit 70–90 °C kann zusätzlich zur Badewassererwärmung genutzt werden. Der Bedarf liegt bei 1,65 MWh/(a\*m<sup>2</sup>) [Kubessa, 1998], damit ist ein etwa 560 m<sup>2</sup> großes Becken beheizbar.

In den beiden nachfolgenden Abbildungen sind für einige mobile Speicherkonzepte die erforderlichen Wärmeerlöse in Abhängigkeit der Auslastung der mobilen Speicher und der Entfernung dargestellt.

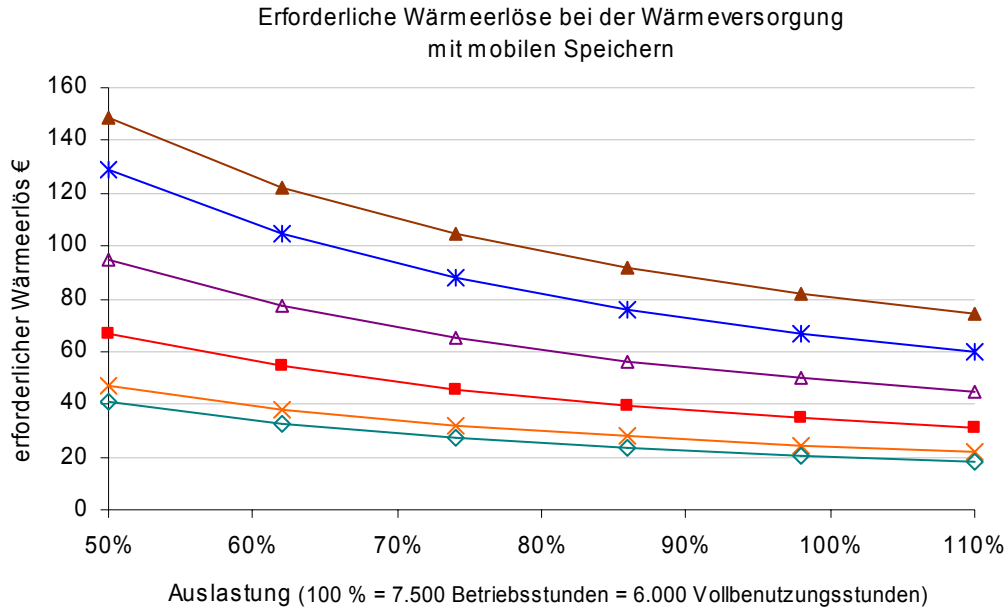


Abbildung 6-8: Erforderliche Wärmeerlöse in Abhängigkeit der Auslastung

- Zeolith heizen Adsorptionsspeicher 500 kW<sub>el</sub>
- ▲ Zeolith heizen und trocknen Adsorptionsspeicher 150 kW<sub>el</sub>
- × Zeolith heizen und trocknen Adsorptionsspeicher 500 kW<sub>el</sub>
- \* Zeolith klimatisieren Adsorptionsspeicher 500 kW<sub>el</sub>
- △ Schneider heizen Latentwärmespeicher 150 kW<sub>el</sub>
- Schneider heizen Latentwärmespeicher 500 kW<sub>el</sub>

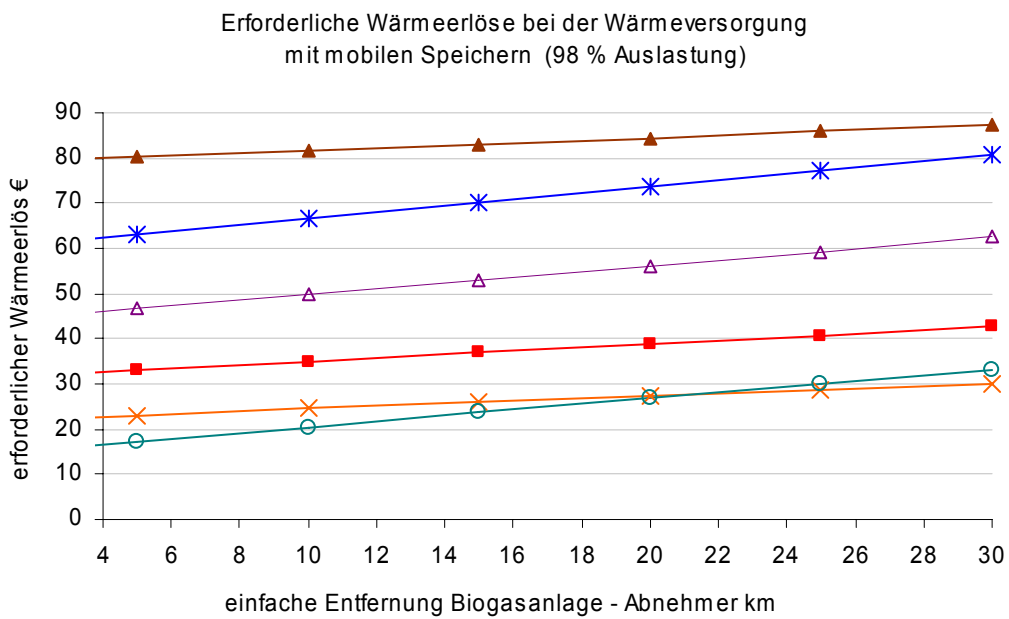


Abbildung 6-9: Erforderliche Wärmeerlöse in Abhängigkeit der Entfernung

## 7 WÄRME- UND KÄLTEVERSORGUNG–VARIANTE 4

### 7.1 Einführung und Stand der Technik

#### **Einführung**

Die Nutzung der Abwärme einer BHKW-Anlage zur Erzeugung von Kälte für Kühlanforderungen erhöht die Ausnutzung der Abwärme insbesondere in den Sommermonaten. Die Kälte wird mit Absorptionskältemaschinen erzeugt, die mit der Abwärme der Biogasanlage angetrieben werden.

Untersucht werden die Bereitstellung verschiedener Kältetemperaturniveaus und unterschiedlicher Kälte-lastprofile.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein positiver Beitrag durch Kälteerzeugung zur Wirtschaftlichkeit dann gegeben ist, wenn parallel auch Abwärme direkt zu Heizzwecken oder zur Prozesswärmeerzeugung abgegeben wird.

Geeignete Varianten für beide Referenz-Anlagengrößen sind:

- die Versorgung eines Gebäudes in der Grundlast mit Klimakälte
- die Bereitstellung von Kälte auf niedrigerem Temperaturniveau für eine Molkerei

Beide Varianten weisen eine hohe Vollbenutzungsstundenzahl auf. Erheblichen Anteil an den Einnahmen hat bei allen Konfigurationen die parallele Wärmelieferung. Konfigurationen, bei denen nur die Wärme des BHKW-Abgases zur Kälteerzeugung genutzt wird und die restliche Abwärme des BHKWs ungenutzt bleibt, sind für einen wirtschaftlichen Einsatz nicht geeignet.

#### **Stand der Technik**

Die Bereitstellung von Kälte, beispielsweise zur Klimatisierung, kann durch verschiedene Kälteprozesse erreicht werden. Die Anlagen werden nach ihrer Antriebsart und der erreichbaren Kaltwassertemperatur unterteilt. Unterschieden werden:

- Kompressionskältemaschinen (KKM) (strombetrieben)
- Absorptionskältemaschinen (AKM) (wärmebetrieben)

#### **Kompressionskältemaschinen**

Bei der Kompressionskältemaschine wird in der Regel ein Kolbenverdichter verwendet, der mit einem Elektromotor angetrieben wird. Aufgrund der verwendeten Kältemittel wird bei der Druckentspannung in einer Drossel die Temperatur des Kältemittels auf die gewünschte Kühltemperatur abgesenkt.

#### **Absorptionskältemaschinen**

Im Folgenden wird die prinzipielle Funktion einer Absorptionswärmepumpe erklärt. Je nachdem, ob man primär Kälte erzeugen will, oder Wärme auf ein höheres Temperaturniveau anheben möchte, spricht man von einer Absorptionskältemaschine oder Absorptionswärmepumpe. Da in den Szenarien die Kälteerzeugung im Mittelpunkt steht, werden im Folgenden die Anlagen als Absorptionskältemaschinen bezeichnet. Der Funktionsablauf ist bei beiden Anlagen gleich. Gesättigter Kältemitteldampf (Wasserdampf) wird in

den Absorber geleitet und im eingesprützten Lösungsmittel (LiBr-Wasser-Lösung) absorbiert. Aufgrund der hohen Affinität der Lösung zum Kältemitteldampf wird der Wasserdampf vom LiBr "aufgesogen", wodurch der Wasserdampf kondensiert und absorbiert wird. Dabei wird Absorptionswärme frei, die zu Heizzwecken genutzt werden kann oder in die Umgebung über Kühler abgeführt wird.

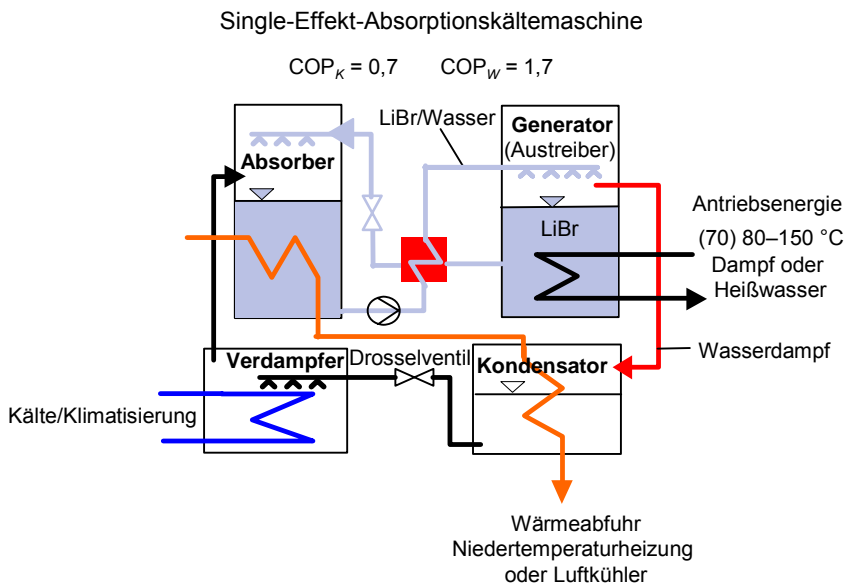


Abbildung 7-1: Absorptionskältemaschine

Die Lösung wird durch eine Pumpe auf ein höheres Druckniveau gebracht, vorgewärmt und in den Generator eingespritzt. Durch Wärmezufuhr (Abgaswärme, Heißwasser oder Dampf) wird nun das Arbeitsmittel (Wasserdampf) verdampft und dem Kondensator zugeführt. Das zurückbleibende konzentrierte Lösungsmittel LiBr wird über den Vorwärmer zurück

in den Absorber geleitet. Im Kondensator erfolgt die Kondensation des Arbeitsmitteldampfes. Die dabei frei werdende Kondensationswärme kann ebenfalls zu Heizzwecken verwendet werden oder muss an die Umgebung abgegeben werden. Über ein Drosselventil erfolgt eine Druckreduktion, wie bei einer Kompressionskältemaschine kühlt sich das Medium dabei ab. Das Kältemittelkondensat wird in den Verdampfer eingespritzt, wo es aufgrund der Wärmezufuhr aus der Umgebung (beispielsweise Kühlung eines Raumes) verdampft und als gesättigter Kältemitteldampf dem Absorber erneut zugeführt wird.

Man unterscheidet verschiedene Bauformen von Absorptionskältemaschinen, die sich in der Antriebstemperatur, der Ein- oder Mehrstufigkeit (Anzahl der Generatoren), dem Wirkungsgrad und den Investitionskosten unterscheiden. Auf die aufgeführten Bauformen wird nicht näher eingegangen:

- Single-Effect (SE)
- Double-Effect/Single-Effect (DE/SE)
- Single-Effect/Double-Lift (SE/DL)
- Double-Effect (DE)

### Wirkungsgrad und Wärmeverhältnis

Eine Beurteilung einer Kältemaschine bzw. Wärmepumpe erfolgt für Kompressionsanlagen über die Leistungszahl  $\varepsilon$  und für Absorptionsmaschinen über das Wärmeverhältnis  $COP_W$  bzw. den Kältewirkungsgrad  $COP_K$  ( $COP$  ... coefficient of performance).

Als Kältemaschine gilt:

$$COP_K = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_A} \quad \text{und} \quad \varepsilon_K = \frac{\dot{Q}_K \text{ zugeführt}}{P_{el} \text{ Antrieb}} \quad K = \text{Kälte}$$

Gleichung 7-1 und Gleichung 7-2



$\dot{Q}_K = \text{zugeführte Leistung aus der Rauchgaskondensation} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$

$\dot{Q}_A = \text{zugeführte Leistung im Generator} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$

$P_{el \text{ Antrieb}} = \text{Kompressorleistung bei elektr. Kältemaschinen} [kW]$

Als Wärmepumpe gilt:

$$COP_W = \frac{\dot{Q}_W \text{ abgegeben}}{\dot{Q}_A} \quad \text{und} \quad \varepsilon_W = \frac{\dot{Q}_W \text{ abgegeben}}{P_{el \text{ Antrieb}}} \quad W = \text{Wärme} \quad \text{Gleichung 7-3 und Gleichung 7-4}$$

$\dot{Q}_W \text{ abgegeben} = \text{abgegebene Wärmeleistung an das Nahwärmesystem} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$

$\dot{Q}_A = \text{zugeführte Leistung im Generator} \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]$

$P_{el \text{ Antrieb}} = \text{Kompressorleistung bei elektr. Kältemaschinen} [kW]$

Umrechnung:

$$COP_W = COP_K + 1 \quad \text{und} \quad \varepsilon_W = \varepsilon_K + 1 \quad \text{Gleichung 7-5 und Gleichung 7-6}$$

Für Kälte über 0 °C findet Wasser als Kältemittel und wässriges Lithium-Bromid (LiBr) als Lösungsmittel Verwendung. Die LiBr-Wasser Absorptionskältetechnik ist seit einigen Jahrzehnten im gewerblichen Einsatz erprobt und mit ausgereiften Anlagenkonzepten auf dem Markt [ASUE, 1995].

Für die Kälteerzeugung und Klimatisierung auf bis 6 °C können LiBr-Wasser Absorptionskältemaschinen verwendet werden. Übliche Klimatisierungstemperaturen betragen 6–15 °C im Kühlvorlauf und 12–18 °C im Rücklauf.

Für die Kälteerzeugung unter 0 bis -60 °C wird entweder Ammoniak als Kältemittel und Wasser als Lösungsmittel verwendet oder eine so genannte Kaskadenanordnung, bestehend aus einer Absorptionskältemaschine für die Temperaturabsenkung auf etwa 6 °C und einer Kompressionskältemaschine für die Temperaturabsenkung auf die gewünschte Zieltemperatur < 0 °C.

Der  $COP_K$  beträgt für LiBr-Wasser Absorptionsmaschinen je nach Bauart und Antriebstemperatur 0,75–1,3. Bei der Standardbauweise als Single-Effekt Maschine geht man bei Antriebstemperaturen von 80–110 °C von einem  $COP_K$  von etwa 0,7–0,75.

Ammoniak-Wasser Absorptionskältemaschinen erreichen je nach geforderter Kühltemperatur, vorhandener Antriebstemperatur und Bauart einen  $COP_K$  von etwa 0,3–0,65.

Kompressionskältemaschine erreichen zur Erzeugung von 6 °C einen Kältewirkungsgrad  $\varepsilon_K$  von 4–7, benötigen dafür aber die hochwertige Energieform elektrischen Strom. Bei größerem Temperaturhub, wie Kälteerzeugung unter dem Gefrierpunkt, sinkt die Leistungsziffer. Eine gesamtenergetische Betrachtung reduziert den  $COP_K$  ebenfalls aufgrund der Kraftwerkswirkungsgrade ( $\eta_{el} \sim 0,35$ ) um den Faktor drei. Bei geringerem Temperaturhub, beispielsweise bei einer Kaskadenschaltung, steigt die Leistungsziffer an.

Der Einsatz einer Absorptionskältemaschine ist abhängig von:

- Antriebstemperaturniveau (Rauchgas oder Warmwasser), vorgegeben durch das BHKW
- Gewünschte Kühltemperatur und Gefrierpunkt des Kältemittels

## 7.2 Randbedingungen für die Wärme- und Kälteversorgungskonzepte

Die folgenden LiBr-Wasser Absorptionsmaschinen werden in den Szenarien verwendet:

### **Maschinen für Klimakälte > 6 °C**

- Single-Effect (SE), einstufige LiBr-Wasser Absorptionskältemaschine, Nutzung der gesamten BHKW-Abwärme (Mantelkühlwasser und Abgas) zum Antrieb der Absorptionskältemaschinen. Antriebstemperatur 100 °C/80 °C.
- Double-Effect/Single-Effect (DE/SE), kombinierte ein-/zweistufige LiBr-Wasser Absorptionskältemaschine. Die Abgaswärme wird effizienter in der Hochtemperaturstufe (Antriebstemperatur 450 °C/180 °C) genutzt. Die Motorkühlwärme wird in der Single-Effect-Stufe (Antriebstemperatur 100 °C/80 °C) genutzt. Die Kälteleistung steigt um 30 % gegenüber der Single-Effect Maschine.
- Double-Effect (DE), zweistufige LiBr-Wasser Absorptionskältemaschine, höhere Energieausnutzung im Vergleich zur Single-Effect Maschine. Es ist nur Wärme > 160 °C im BHKW-Abgas für den Antrieb nutzbar. Motorkühlwärme mit 100 °C oder darunter ist nicht nutzbar.  $COP_K$  1,2–1,3.

### **Maschinen für Kälte < 0 °C**

- Einstufige Ammoniak-Wasser Absorptionskältemaschinen mit Nutzung der BHKW-Abgaswärme.
- Kaskadenschaltung, eine Single-Effect LiBr-Wasser Absorptionskältemaschine kühlt den Kondensator einer Kompressionskältemaschine auf einem Temperaturniveau von etwa + 6 °C. Dadurch kann der Wirkungsgrad der elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschine, welche die Nutzkälte < 0 °C bereitstellt, gesteigert werden. Es ergibt sich eine Energieeinsparung gegenüber einer konventionellen nur elektrischen Kälteerzeugung. Im Vergleich zu einer einzelnen Kompressionskältemaschine erzielt man eine Steigerung des  $COP_K$  der Kompressionskältemaschine von 5,5 auf 8,9 im Fall der Molkerei bzw. von 2,6 auf 5,2 im Fall des Lagerhauses. Die gesamte BHKW-Motorabwärme wird mit 100 °C/80 °C zum Antrieb verwendet.

### **Verbraucher**

Bei der **Dimensionierung** von Systemen zur Bereitstellung von Kälte aus Abwärme anstelle einer konventionellen elektrisch angetriebenen Kälteerzeugung sind zwei Möglichkeiten gegeben:

- Gesamtkältebelastung, BHKW und Absorptionskältemaschine werden so groß dimensioniert, dass der gesamte Bedarf an Kälteenergie und Leistung gedeckt werden kann. Vollbenutzungsstunden der Absorptionskältemaschine etwa 900 h/a.
- Grundlastkälteversorgung, BHKW und Absorptionskältemaschine werden zur Deckung des Grundlastbedarfs ausgelegt. Vollbenutzungsstunden der Absorptionskältemaschine 1.600 h/a. Die Grundlastkälte wird zu einem günstigeren Preis als Spitzenlastkälte angeboten. Mit einer günstigeren elektrischen Kompressionskältemaschine wird die Spitzenkältebelastung gedeckt.

Es werden **drei unterschiedliche Verbraucher** untersucht:

- Versorgung eines **Gewerbeobjekts** mit Heizwärme und Klimakältebedarf mit 6 °C Vorlauf/12 °C Rücklauf. Es wird angenommen, dass nur ein Teil der Nutzfläche klimatisiert wird.
- Versorgung einer **Molkerei** mit Prozesskältebedarf von -3 °C und mit einem hohen Anteil an Prozesswärme für die Produktion.
- Versorgung eines **Lagerhauses für Tiefkühlware** mit Kältebedarf bei -15 °C und mit einem geringen Anteil an Heizwärme für das Verwaltungsgebäude.

Unter Berücksichtigung der diskutierten Dimensionierungsmöglichkeiten werden je vier technische Varianten zum Einsatz bei den 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Referenzanlagen sowie eine weitere Variante zum Einsatz bei der 500 kW<sub>el</sub> Biogas-Referenzanlage definiert.

	Verbraucher	150 kW <sub>el</sub> Nutzfläche	500 kW <sub>el</sub> Nutzfläche	Kältemaschine	COP <sub>k</sub>	Vollbenutzungsstunden Kühlung	Vollbenutzungsstunden Heizung
1	Gewerbeobjekt	2.000 m <sup>2</sup>	5.000 m <sup>2</sup>	SE	0,75	1.600	3.200
2	Gewerbeobjekt	1.000 m <sup>2</sup>	2.500 m <sup>2</sup>	SE	0,75	900	1.600
3	Molkerei mit Prozesskälte			Kaskade- SE+KKM -3°C	0,75+ KKM 8,9	1.920	4.000
4	Lagerhaus für Tiefkühlware			Kaskade- SE+KKM -15°C	0,75+ KKM 5,2	3.000	1.000
5	Gewerbefläche	-	3.500 m <sup>2</sup>	DE/SE	1,04	900	2.100

Tabelle 7-1: Betriebsdaten der Kälteversorgungskonzepte, KKM ... Kompressionskältemaschine

	Verbraucher		Kälteleistung 150 kW <sub>el</sub>	Heizleistung 150 kW <sub>el</sub>	Kälteleistung 500 kW <sub>el</sub>	Heizleistung 500 kW <sub>el</sub>
1	Gewerbeobjekt	Grundlastkälte	95 kW <sub>Kälte</sub>	106 kW <sub>Heizen</sub>	280 kW <sub>Kälte</sub>	324 kW <sub>Heizen</sub>
2	Gewerbeobjekt	Vollkältedeckung	95 kW <sub>Kälte</sub>	106 kW <sub>Heizen</sub>	280 kW <sub>Kälte</sub>	324 kW <sub>Heizen</sub>
3	Molkerei	Vollkältedeckung	85 kW <sub>Kälte</sub>	106 kW <sub>Heizen</sub>	280 kW <sub>Kälte</sub>	324 kW <sub>Heizen</sub>
4	Lagerhaus	Vollkältedeckung	79 kW <sub>Kälte</sub>	106 kW <sub>Heizen</sub>	280 kW <sub>Kälte</sub>	324 kW <sub>Heizen</sub>
5	Gewerbefläche	Vollkältedeckung	-	106 kW <sub>Heizen</sub>	280 kW <sub>Kälte</sub>	324 kW <sub>Heizen</sub>

Tabelle 7-2: Betriebsdaten der untersuchten Kälteversorgungskonzepte

Betriebsdaten	
Entfernung vom BHKW zum Verbraucher / Kosten pro Netztrasse	500 m / 300 €/m
Wärmeerlös für Heizen	45 €/MWh <sub>Heizen</sub>
Kälteerlös -15 % im Vergleich zu Kältegestehungskosten von Kompressorkältemaschinen (siehe Tabelle 7-4)	44–86 €/MWh <sub>Kälte</sub>

Tabelle 7-3: Betriebsdaten der untersuchten Kälteversorgungskonzepte

### 7.3 Wirtschaftlichkeit der Wärme- und Kälteversorgungskonzepte

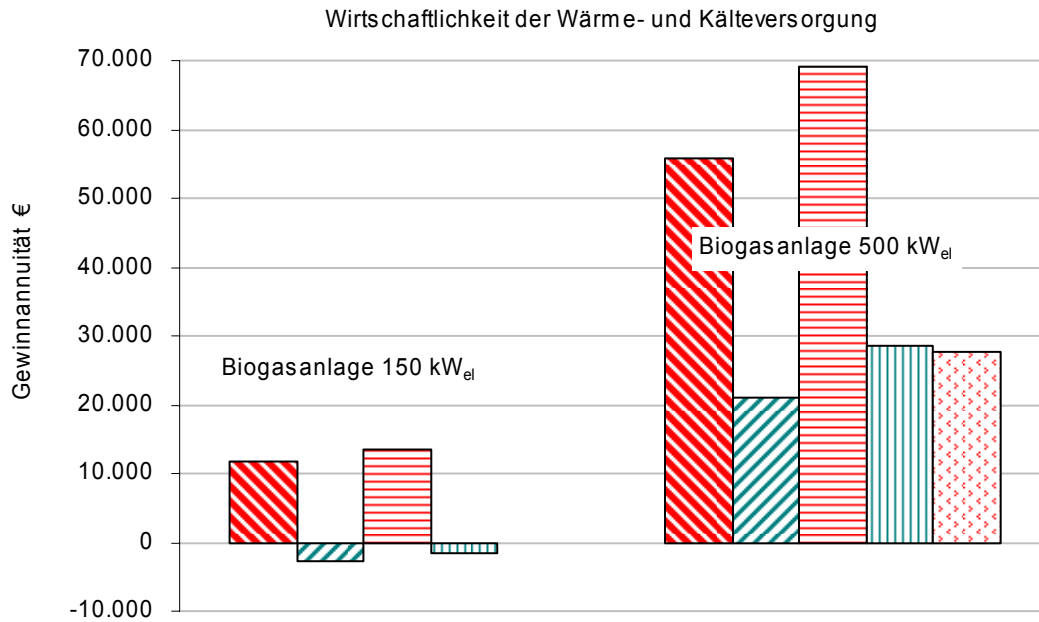
Die folgenden Tabellen zeigen die Kältegestehungskosten für eine Kälteerzeugung mit Kompressionskältemaschinen und mit Absorptionssystemen für die in Abschnitt 7.2 beschriebenen Nutzungsvarianten. Die jeweils ermittelten Gewinnannuitäten sind in Abbildung 7-2 dargestellt.

	Biogas-Referenzanlage Verbraucher	150 kW <sub>el</sub> Investition	500 kW <sub>el</sub> Investition	150 kW <sub>el</sub> [€/MWh <sub>Kälte</sub> ]	500 kW <sub>el</sub> [€/MWh <sub>Kälte</sub> ]
1	Gewerbeobjekt	15.450 €	24.300 €	61 €/MWh <sub>Kälte</sub>	44 €/MWh <sub>Kälte</sub>
2	Gewerbeobjekt	19.450 €	34.300 €	84 €/MWh <sub>Kälte</sub>	69 €/MWh <sub>Kälte</sub>
3	Molkerei	19.595 €	37.315 €	62 €/MWh <sub>Kälte</sub>	54 €/MWh <sub>Kälte</sub>
4	Lagerhaus	19.011 €	36.357 €	86 €/MWh <sub>Kälte</sub>	79 €/MWh <sub>Kälte</sub>
5	Gewerbefläche	---	32.534 €	---	67 €/MWh <sub>Kälte</sub>

Tabelle 7-4: Kältegestehungskosten beim Einsatz von **Kompressionskältemaschinen**

	Biogas-Referenzanlage Verbraucher	150 kW <sub>el</sub> Investition	500 kW <sub>el</sub> Investition	150 kW <sub>el</sub> [€/MWh <sub>Kälte</sub> ]	500 kW <sub>el</sub> [€/MWh <sub>Kälte</sub> ]
1	Gewerbeobjekt	248.000 €	310.000 €	-9 €/MWh <sub>Kälte</sub>	-78 €/MWh <sub>Kälte</sub>
2	Gewerbeobjekt	248.000 €	310.000 €	96 €/MWh <sub>Kälte</sub>	-16 €/MWh <sub>Kälte</sub>
3	Molkerei	257.000 €	331.000 €	-11 €/MWh <sub>Kälte</sub>	-83 €/MWh <sub>Kälte</sub>
4	Lagerhaus	259.000 €	324.000 €	78 €/MWh <sub>Kälte</sub>	31 €/MWh <sub>Kälte</sub>
5	Gewerbefläche		378.000 €		-14 €/MWh <sub>Kälte</sub>

Tabelle 7-5: Kältegestehungskosten beim Einsatz von **Absorptionskältemaschinen** und Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungs-Betrieb (KWKK). Der angenommene Wärmeerlös für die Wärmeversorgung beträgt 45 €/MWh. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.



- 1 Gewerbeobjekt, Single-Effekt AKM, Grundlast-Klimakälte und Heizwärme, ca. 2.000 / 5.000 m<sup>2</sup> Gewerbe-
- 2 Gewerbeobjekt, Single-Effekt AKM, Vollversorgung Klimakälte, ca. 1.000 / 2500 m<sup>2</sup> Gewerbe-
- 3 Molkerei, Kaskade Single-Effekt AKM & KKM, Molkerei, -3 °C Prozesskälte und Prozess-
- 4 Lagerhaus, Kaskade Single-Effekt AKM & KKM, Vollkältedeckung -15 °C und Heiz-
- 5 Gewerbefläche, Double-Effekt/Single-Effekt AKM, Vollversorgung Klimakälte und Heizwärme, ca.

Abbildung 7-2: Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Kälteversorgungsvarianten mit Absorptionssystemen. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

Eine Sensitivitätsanalyse der Parameter wird für zwei Verbraucher durchgeführt, für die ein vergleichsweise hohes Anwendungspotenzial erwartet wird:

- Verbraucher 2 Gewerbeobjekt für 150 kW<sub>el</sub> Biogasanlage, Gewerbeobjekt 5.000 m<sup>2</sup>
- Verbraucher 3 Molkerei für 500 kW<sub>el</sub> Biogasanlage, Molkerei mit Prozesskälte und Heizung

Lesebeispiel für die nachfolgenden beiden Diagramme:

Verbraucher 3 Molkerei: Bei 0 % ist der Ausgangszustand für die betrachteten Referenzanlagen abzulesen, die Gewinnannuität beträgt 70.000 €. Ein Wärmepreis von -20 % reduziert die Gewinnannuität auf 56.000 €. Eine Änderung um +10 % erhöht die Gewinnannuität auf etwa 75.000 €.

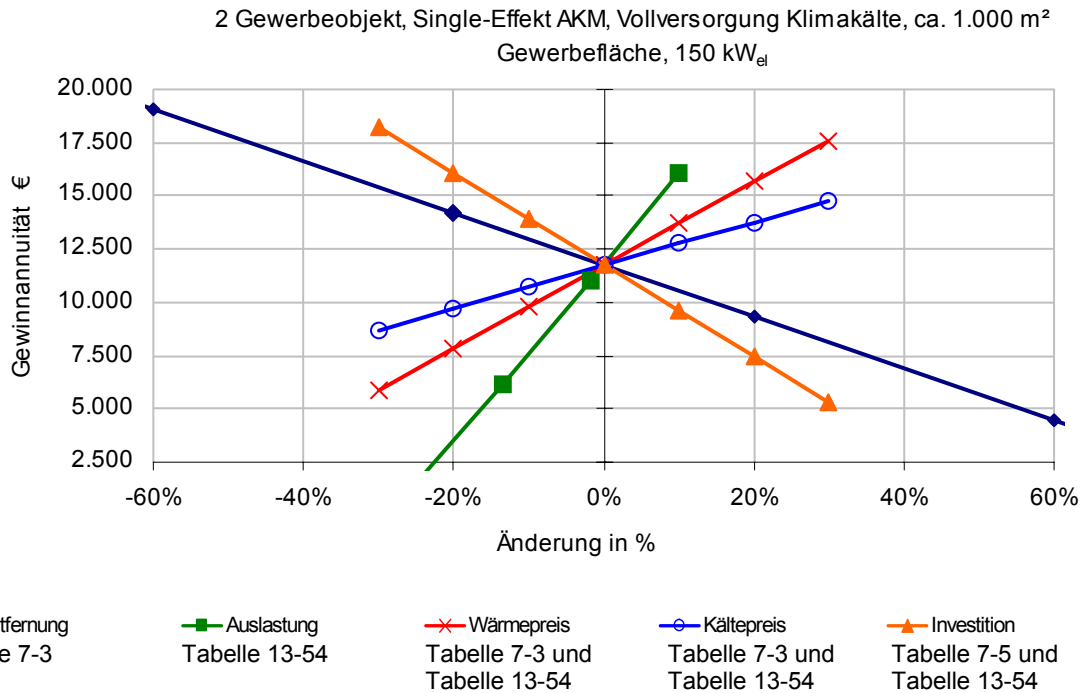


Abbildung 7-3: Sensitivität der Gewinnannuität, Verbraucher 2 Gewerbeobjekt für 150 kW<sub>el</sub> Biogasanlage. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

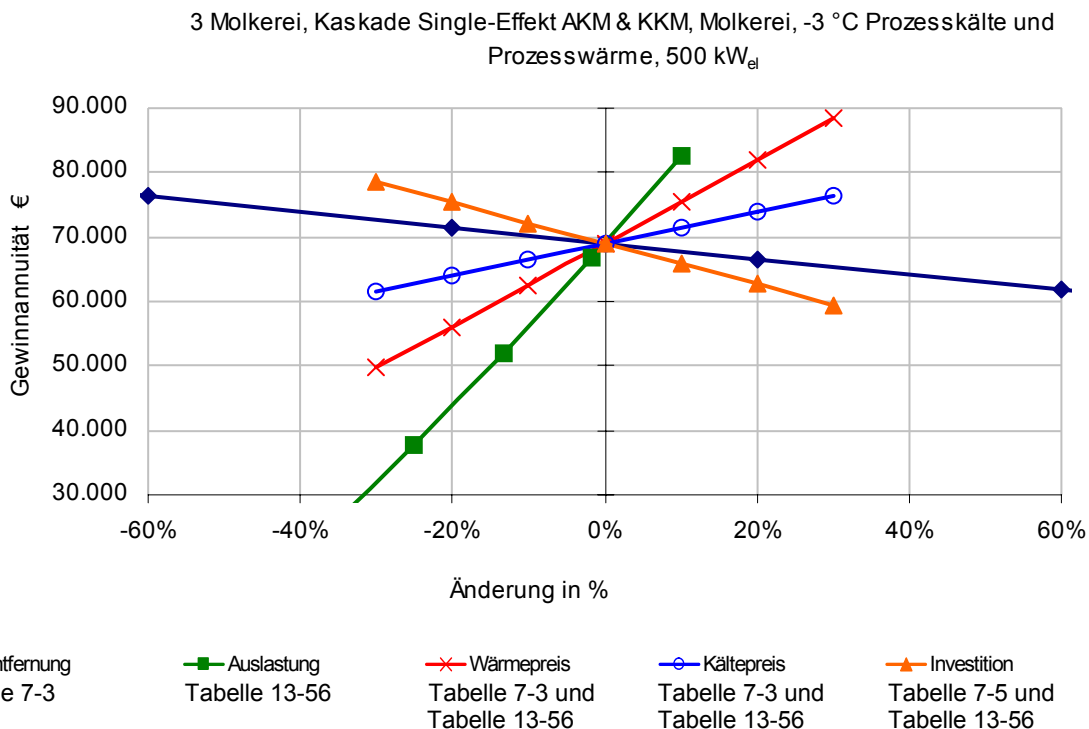


Abbildung 7-4: Sensitivität der Gewinnannuität, Verbraucher 3 Molkerei für 500 kW<sub>el</sub> Biogasanlage. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

## 8 ALTERNATIVE STROMERZEUGUNG UND EFFIZIENZSTEIGERUNG–VARIANTE 5

### 8.1 Einführung

Im Folgenden sind Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz betrachtet, die im Gegensatz zu den bisherigen Varianten eine Änderung der Technik der Stromerzeugung gegenüber der Referenzvariante bedeuten. Die meisten Konzepte verfolgen das Ziel der Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades.

- Effizienteres Motor-BHKW (Zündstrahlmotor statt Gasmotor)
- Motor-BHKW mit ORC-Nachverstromung (Organic Rankine Cycle Prozess)
- Mikrogasturbinen
- Brennstoffzellen

Für die 150 kW<sub>el</sub> Referenzanlagen ergibt der Einsatz eines Zündstrahlmotors aufgrund des höheren elektrischen Wirkungsgrades im Vergleich zu dem Gas-Otto-Motor wirtschaftliche Vorteile. Im Leistungsbereich von 500 kW<sub>el</sub> sind auch mit Gas-Otto-Motoren bereits sehr gute Wirkungsgrade erzielbar.

Die Nachverstromung mittels ORC wirkt sich je nach Interpretation des EEGs unterschiedlich positiv auf die Wirtschaftlichkeit aus.

Die Mikrogasturbine ist bis etwa 100 kW<sub>el</sub> erhältlich. Sie erlaubt keine Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades, aber eine qualitative Veränderung in Form einer höheren Temperatur des Abwärmestromes und einer höheren Abgasreinheit. In bestimmten Anwendungsfällen, wie Prozesswärmebedarf oder Kälteerzeugung, wird damit eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz erreicht. Aufgrund unsicherer Kosten und des Entwicklungsstands wird jedoch kein Konzept zur Wirtschaftlichkeit berechnet.

Unter den verschiedenen Brennstoffzellentypen besteht für die Schmelzkarbonat-Brennstoffzelle derzeit am ehesten ein reales Anwendungspotenzial bei Biogasanlagen im Leistungsbereich von 250 kW<sub>el</sub>. Die Brennstoffzellentechnik ist noch in der Entwicklung. Aufgrund unsicherer Kosten und des Entwicklungsstands wird auch hier kein Konzept zur Wirtschaftlichkeit berechnet.

### 8.2 Effizienteres Motor-BHKW

BHKW-Motore haben eine erhebliche Wirkungsgrad-Bandbreite. Durch Auswahl eines besonders effizienten und in der Regel auch teureren Motors tritt in der Regel keine größere Änderung der Betriebs- und Verbrauchskosten auf. Die Abhängigkeit der Gewinnannuität vom elektrischen Wirkungsgrad zeigt das Verbesserungspotenzial der Wirtschaftlichkeit auf.

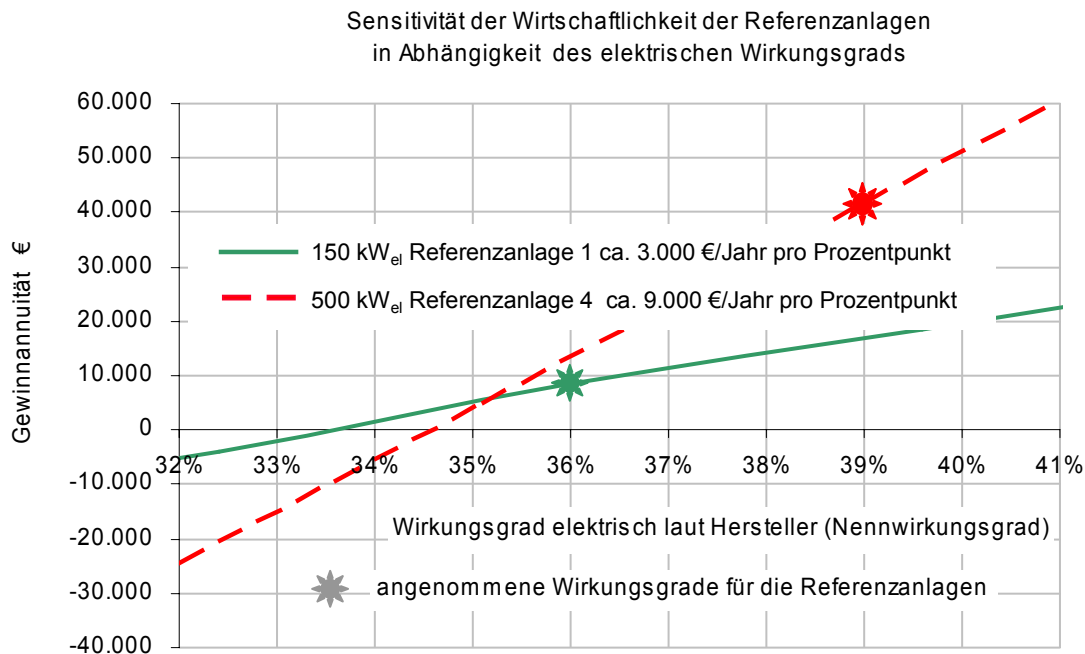


Abbildung 8-1: Sensitivität der Gewinnannuität bei Veränderung des Wirkungsgrades bei der 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlage. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Biogasanlage auf Grundlage der Referenzanlage, der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

Lesebeispiel:

Die Gewinnannuität steigt bei der 150 kW<sub>el</sub> Anlage bei einer Wirkungsgradsteigerung von 36 % auf 38 % von 8.000 € auf 14.000 €. Die Gewinnannuität wird bei der 150 kW<sub>el</sub> Anlage bei Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades um einen Prozentpunkt um 3.000 € erhöht. Bei der 500 kW<sub>el</sub> steigt die Gewinnannuität je Prozentpunkt um 9.000 €. Bei einer Reduktion des Wirkungsgrades sinkt die Gewinnannuität um den entsprechenden Betrag.

Bei den Referenzanlagen mit 500 kW<sub>el</sub> Leistung wird von einem elektrischen Nennwirkungsgrad von 39 %, bei 150 kW<sub>el</sub> Leistung von einem elektrischen Nennwirkungsgrad von 36 % ausgegangen. Die realen Wirkungsgrade werden, wie in Tabelle 2-2 dargestellt, um 3 %-Punkte unter dem Wirkungsgrad laut Hersteller (Nennwirkungsgrad) angesetzt.

### Zündstrahlmotor

Als technische Alternative zum Gas-Otto-Motor wird bei den 150 kW<sub>el</sub> Referenzanlagen ein sehr effizienter **Zündstrahlmotor** mit einer Nennleistung von 180 kW<sub>el</sub> und einem Wirkungsgrad von  $\eta_{el, Nenn} = 41 \%$  bzw.  $\eta_{el, real} = 38 \%$  betrachtet. Die höhere Nennleistung von 180 kW<sub>el</sub> gegenüber 150 kW<sub>el</sub> ergibt sich aufgrund des zusätzlichen Zündölanteils bei gleicher zur Verfügung stehender Biogasmenge. Die Emissionen werden im betrachteten Fall über eine spezielle Einspritz-Elektronik gemindert, mit der die Einhaltung der halben TA-Luft-Abgasemissionsbegrenzungen erreicht werden soll. [Herdin, 2002] Durch eine optimierte Nockenwelle soll ein reduzierter Methanschluß erreicht werden.

Weitere Daten finden Sie im Anhang Abschnitt 13.7. Ein Vergleich der beiden Motorbauarten ist in der folgenden Tabelle dargestellt.



Zündstrahlmotor	Gas-Otto-Motor
erhältlich bis etwa 250 kW <sub>el</sub> , bis zu 10 % Zündölanteil	auch für größere Leistungen erhältlich
Standzeiten etwa 35.000 Betriebsstunden, höhere Wartungskosten	höhere Lebensdauer und Standzeiten bis etwa 60.000 Betriebsstunden
geringere Investitionskosten	geringere Wartungskosten
bessere Wirkungsgrade, insbesondere bei kleinen Motoren	annähernd gleiche elektrische Wirkungsgrade bei größeren Motoren
sicherer Betrieb mit unterschiedlicher Gasqualität	Mindestmethanzahl erforderlich, keine Kraftstofflagerung von Zündölen erforderlich
Abgasemissionen höher im Vergleich zu Gas-Otto-Motoren (z. B. durch Zündöleinsatz)	geringere Abgasemissionen im Vergleich zu Zündstrahlmotoren

Tabelle 8-1: Vergleich der Motorbauarten

Die wirtschaftliche Bewertung des Zündstrahlmotors berücksichtigt die erhöhten Verbrauchskosten durch den Einsatz von Rapsmethylester (RME) als Zündöl gemäß den Anforderungen des EEG und die erhöhten Erlöse durch die höhere Stromproduktion.

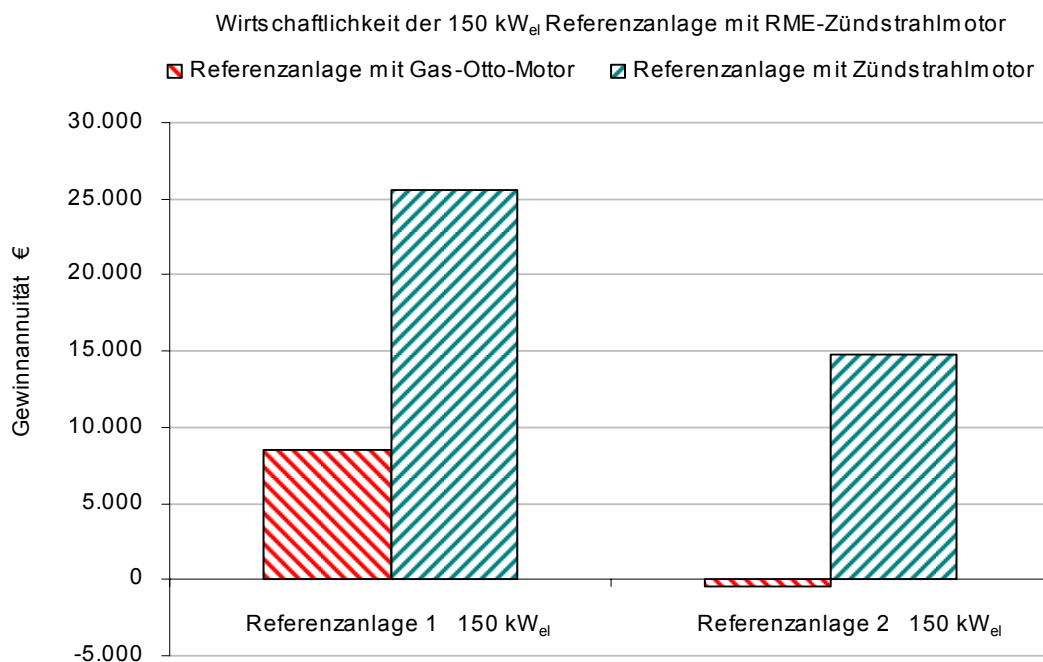


Abbildung 8-2: Wirtschaftlichkeit der Referenzanlagen 1 und 2 bei Nutzung eines Gas-Otto-Motors (jeweils links,  $\eta_{el, Nenn} = 36\%$  bzw.  $\eta_{el, real} = 33\%$ ) und im Vergleich bei Nutzung eines Zündstrahlmotor (jeweils rechts,  $\eta_{el, Nenn} = 41\%$  bzw.  $\eta_{el, real} = 38\%$ ). Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Biogasanlage, der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus. Weitere Daten finden Sie im Anhang Abschnitt 13.7.

Der Einsatz des Zündstrahlmotors ergibt bei der 150 kW<sub>el</sub> Anlage eine deutlich höhere Gewinnannuität im Vergleich zur Referenzanlage mit Gas-Otto-Motor.

### 8.3 Motor-BHKW mit ORC-Nachverstromung

#### Einführung

Verschiedene Anbieter arbeiten daran, ORC-Anlagen zur Nachverstromung von Abwärme aus Biogas-BHKWs zu entwickeln, beispielsweise [Schmidt, 2006], [Herdin, 2005], [Ruderisch, 2005], [Schneider, 2006], GMK, Freepower und andere. Für größere, fossil befeuerte BHKWs im Leistungsbereich einiger MW<sub>el</sub> ist die Nachschaltung einer Wasserdampfturbine an das BHKW-Abgas Stand der Technik. Für den Leistungsbereich  $\leq 1$  MW<sub>el</sub> kommen nach gegenwärtiger Technik Turbinen oder Schraubenmotoren mit einem organischen Arbeitsmittel, sogenannte ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle) in Frage. Die elektrischen Wirkungsgrade von ORC-Anlagen betragen zwischen 8 und 19 %. Derzeit werden für Biogasanlagen ORC-Anlagen in der Größenordnung von 50 kW<sub>el</sub> angestrebt. Deutlich kleinere Anlagen beispielsweise auf Scroll-Expander-Basis (z. B. enef tech Schweiz und USA) würden voraussichtlich geringere Wirkungsgrade erzielen. Aus diesem Grund kommen ORC-Anlagen derzeit nicht für die 150 kW<sub>el</sub> Motoren in Betracht.

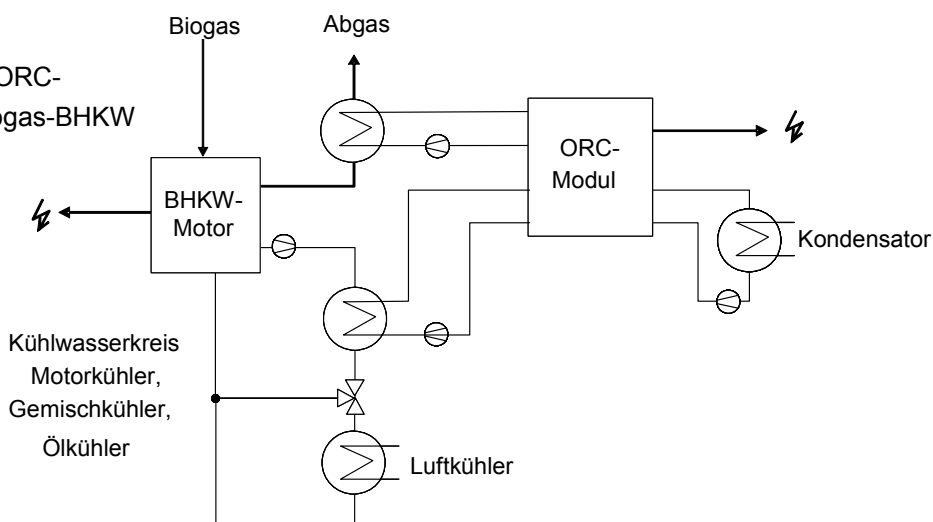
Die technische Realisierung der Nachschaltung von ORC-Anlagen an das Abgas von Biogas-BHKWs ist prinzipiell gelöst, da ORC-Aggregate mit Leistungen ab ca. 300 kW<sub>el</sub> seit längerem (z. B. Turboden, GMK) auf dem Markt sind. Die ORC-Anlagen können in einem Container vorgefertigt und in der Nähe des BHKW-Motors aufgestellt werden.

Die Wärmezufuhr erfolgt entweder nur durch Abgaswärme bis ca. 150 °C Abgastemperatur oder durch zusätzliche Nutzung von Kühlerkreisläufen am Motor auf niedrigerem Temperaturniveau. Der Motor-Kühlkreislauf wird dabei von 90 °C auf 70 °C abgekühlt. Je nach ORC-Arbeitsmedium wird ein Thermoölkreislauf dazwischen geschaltet.

ORC Anlagen benötigen einen Kondensator und eine Wärmeabfuhr auf möglichst niedrigem Temperaturniveau zum Erreichen eines hohen Wirkungsgrades. Die Kondensation erfolgt beispielsweise mit Trockenkühler, da eine Nutzung der Kondensationswärme meist nicht möglich ist. Ausnahmen sind Niedrigsttemperaturanwendungen  $< 40$  °C, wie die Beheizung einer Gärtnerei, von Pflanzenplantagen oder von Hallen.

ORC-Anlagen werden im Vergleich zu Wasserdampfturbinen mit niedrigerem Druck betrieben. Mit geeigneten Sicherheitseinrichtungen benötigen sie keine ständige Beaufsichtigung und sind so in zahlreichen Hackschnitzel-Heizkraftwerken in Deutschland im Einsatz.

Abbildung 8-3: Schaltbild einer ORC-Nachverstromung bei einem Biogas-BHKW



### **Wirtschaftliche und rechtliche Aspekte**

Das EEG fördert mit dem Innovationsbonus im Rahmen des EEGs (§ 8 Abs. 4) den Einsatz von ORC-Anlagen mit 2 ct/kWh<sub>el</sub>. Die Interpretation für zusätzliche Vergütungen nach § 8 Abs. 3 bzw. 4 des EEG vom August 2004 (KWK- bzw. Innovations-/Technologiebonus, jeweils 2 ct/kWh) sind insbesondere für die ORC-Nachverstromung strittig und unterliegen dem Ermessen der Netzbetreiber.

Nach verbreiteter Ansicht wird die zum Innovations-/Technologiebonus in § 8 Abs. 4 genannte Forderung, die Anlagen seien *auch in Kraft-Wärme-Kopplung* zu betreiben, bereits dadurch erfüllt, dass die Anlagen wenigstens zeitweise in KWK betrieben werden [Bund, 2004]. Das ist beispielsweise bereits durch zeitweise Beheizung eines Wohnhauses unter Verwendung der Kühlwasser-Abwärme des BHKW gegeben.

Durch die Wärmeabgabe an die ORC-Anlage ergibt sich nicht unbedingt ein Anspruch auf einen KWK-Bonus für den *vom BHKW* erzeugten Strom. Hierzu müsste eigentlich die Wärme an einen externen Nutzer oder ORC-Betreiber abgegeben werden. Es gibt jedoch Fälle, in denen in Absprache mit dem Netzbetreiber bei Erfassung der Wärme für den ORC mittels Wärmemengenzähler der KWK-Bonus vom Netzbetreiber gewährt wird (Vergütungsmodell 3). Interessenten sollten daher die Vergütung vor der Realisierung mit dem zuständigen Netzbetreiber vertraglich fixieren.

Es sind folgende Interpretationsvarianten der Vergütungen denkbar und in der Praxis teilweise realisiert:

Vergütungsmodelle
1. Innovations-/Technologiebonus nur für den Strom aus der ORC-Anlage. Kein KWK-Bonus für den Strom aus dem Biogasmotor-BHKW. Keine Nutzung der ORC-Abwärme.
2. Innovations-/Technologiebonus für den Strom aus dem Biogasmotor-BHKW und aus der ORC-Anlage. Kein KWK-Bonus für den Strom aus dem Biogasmotor-BHKW. Keine Nutzung der ORC-Abwärme.
3. KWK-Bonus für den Strom aus dem Biogasmotor-BHKW und Innovations-/Technologiebonus für den Strom aus der ORC-Anlage. Keine Nutzung der ORC-Abwärme.

Tabelle 8-2: Vergütungsmodelle bei der Nutzung eines ORC zur Nachverstromung

### **Konzept und Wirtschaftlichkeit einer ORC-Beispielanlage (ORC-Referenzfall)**

Konzept
Biogas-BHKW mit 461 kW <sub>el</sub> und 7.500 Vollbenutzungsstunden (entspricht Referenzanlage 3 und 4)
Genutzte Abwärmeleistung bei 150 °C Abgastemperatur aus Abgas und Motorkühlung 285 kW <sub>th</sub>
ORC mit Wärmezufuhr über Abgas-Thermoöl-Wärmeübertrager
ORC-Leistung 46 kW <sub>el</sub> brutto, Eigenstrombedarf 8 kW <sub>el</sub> zu 12 ct/kWh <sub>el</sub> (Kreislaufpumpen, ...)
Brutto-Wirkungsgrad des ORC im Jahresmittel 17,5 %, 3,9 % der Biogas-Brennstoffenergie
Investitionskosten des ORC-Moduls betragen 350.000 €
Vergütungsvergleich nach allen drei Interpretationsvarianten mit Betriebsbeginn 2008

Tabelle 8-3: Randbedingungen für das ORC-Konzept (ORC-Referenzfall)

Weitere Daten dazu finden Sie im Anhang Abschnitt 13.7.1.

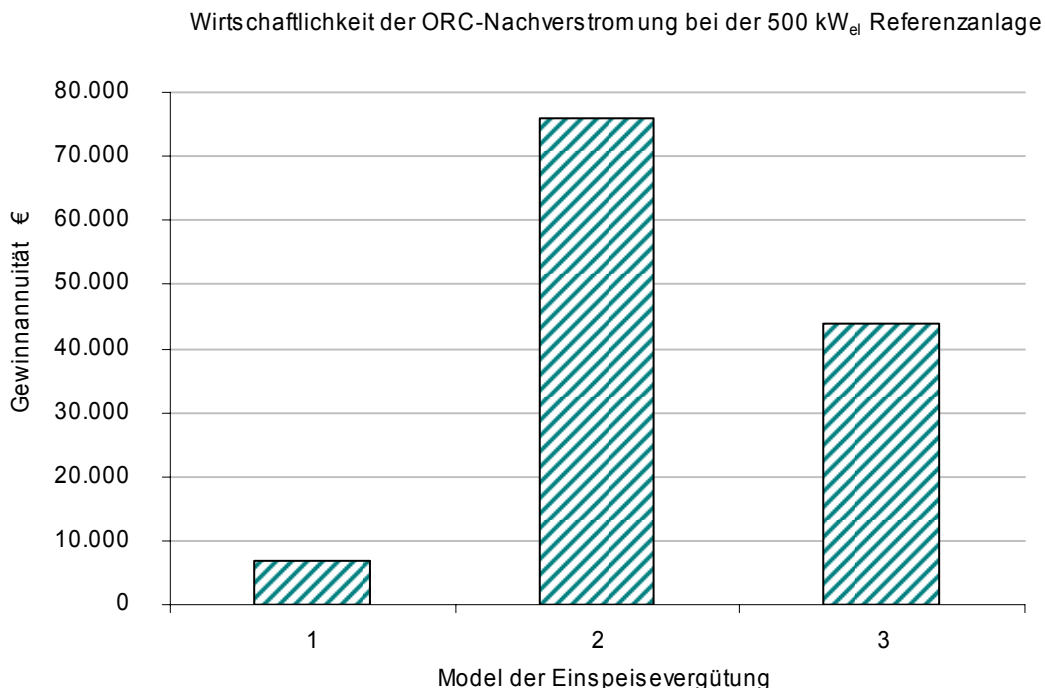


Abbildung 8-4: Wirtschaftlichkeit einer Nachverstromung mit einem 50 kW<sub>el</sub> ORC-Modul auf der Basis des EEGs, Vergütungsmodell 1, 2 und 3. Als Vergütungsbasis wird die Vergütung in 2008 gewählt, da ORC-Anlagen erst seit 2007 zur Verfügung stehen. Berücksichtigt sind alle zusätzlichen Kosten und Einnahmen aufgrund der Wärmenutzungsvariante ORC auf Basis der Vergütung im Jahr 2008.

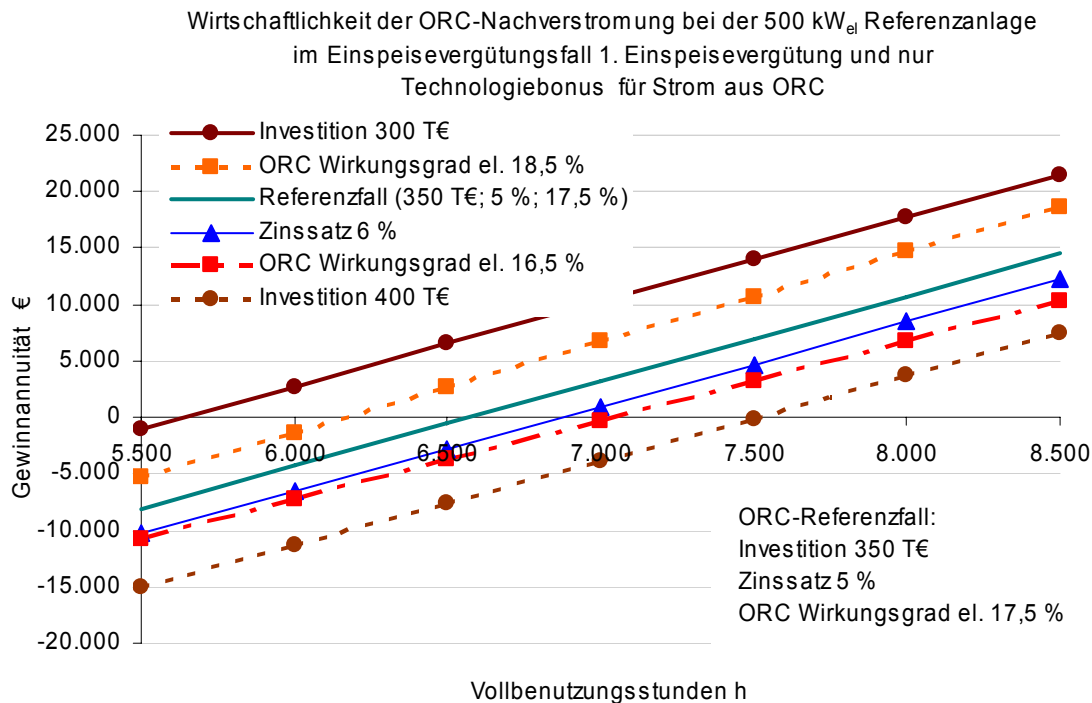


Abbildung 8-5: Wirtschaftlichkeit und Sensitivität auf verschiedene Parameter. Nachverstromung mit einem 50 kW<sub>el</sub> ORC-Modul auf der Basis des EEGs, Vergütungsmodell 1. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen aufgrund der Wärmenutzungsvariante auf Basis der Vergütung im Jahr 2008.

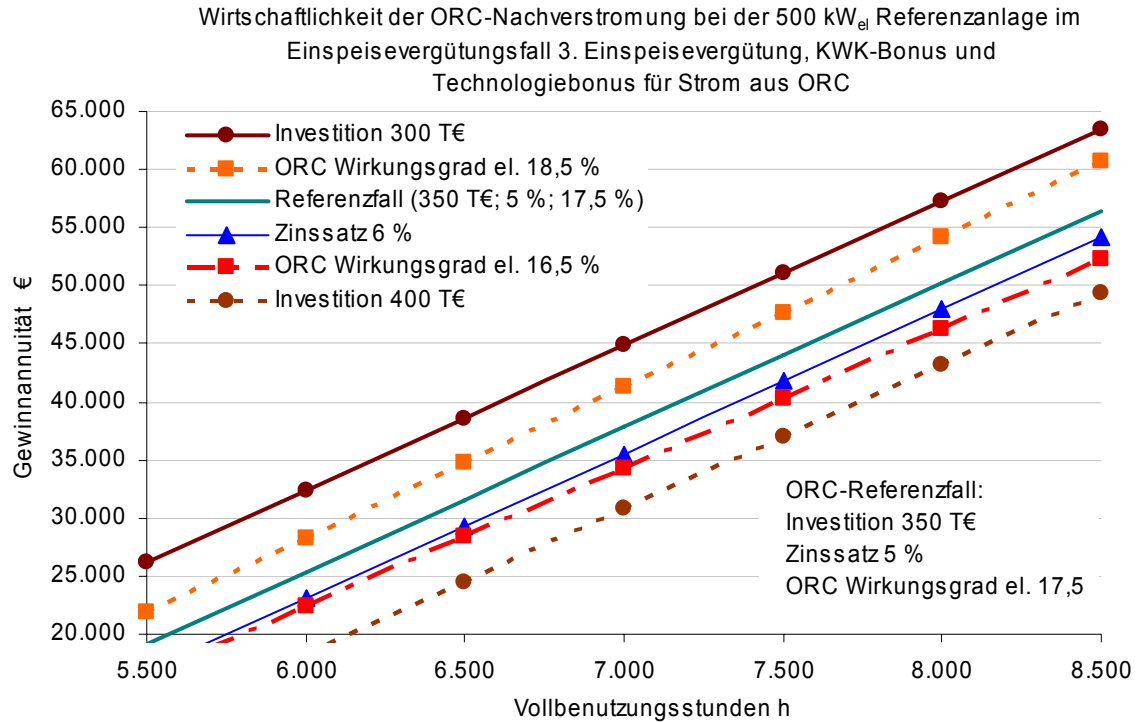


Abbildung 8-6: Wirtschaftlichkeit und Sensitivität auf verschiedene Parameter. Nachverstromung mit einem 50 kW<sub>el</sub> ORC-Modul auf der Basis des EEGs, Vergütungsmodell 3. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen aufgrund der Wärmenutzungsvariante auf Basis der Vergütung im Jahr 2008.

Lesebeispiel:

Einspeisevergütungsfall 3: Ausgehend vom Referenzfall mit einer Gewinnannuität von 45.000 € bei 7.500 Stunden ergibt sich bei Verringerung der Investitionskosten auf 300.000 € eine Gewinnannuität von 52.000 €.

Investition und Wirkungsgrad sind die Parameter mit dem größten Einfluss auf die Gewinnannuität.

## 8.4 Mikrogasturbinen

### Einführung und Stand der Technik

Mikrogasturbinen können alternativ zu Motor-BHKW zur Stromerzeugung aus Biogas eingesetzt werden. Der Begriff Mikrogasturbinen wird üblicherweise für Rekuperator-Gasturbinen (Verbrennungsluftvorwärmung mit dem Abgas) mit einer elektrischen Leistung unter 300 kW<sub>el</sub> verwendet. In diesem Leistungsbereich werden die Spaltverluste an der Turbine erheblich, sodass ein Beibehalten der sonst bei Gasturbinen üblichen Druckverhältnisse zwischen Turbinenein- und Auslass von 8–20 bar nicht sinnvoll wäre.

Erreichbare elektrische Wirkungsgrade betragen 30 %, womit Gasturbinen einen Nachteil gegenüber Gas- und besonders Zündstrahlmotoren in dem jeweiligen Leistungsbereich aufweisen. Weiterhin einschränkend für eine Anwendung sind die deutlich höheren Investitionskosten. Das EEG fördert mit dem Innovationsbonus im Rahmen des EEGs (§ 8 Abs. 4) den Einsatz von Mikrogasturbinen mit 2 ct/kWh<sub>el</sub>.

Vorteile von Mikrogasturbinen gegenüber Motor-BHKW sind:

Vorteile von Mikrogasturbinen gegenüber Motor-BHKW
Geringerer Wartungsaufwand und geringe Zahl bewegter Teile. Die Turbinenschaufeln sind andererseits sehr empfindlich, womit die Aussage über den geringen Wartungsaufwand relativiert wird.
Die NO <sub>x</sub> -Emissionen liegen um den Faktor 8 und die CO-Emissionen um den Faktor 20 unter typischen Werten von Motor-BHKW [Herdin, 2002]. Die direkte Nutzung des Abgases zur Trocknung und CO <sub>2</sub> -Düngung ohne aufwendige Katalysatortechnik ist möglich (vergleiche Kapitel 4).
Abwärmestrom auf hohem Temperaturniveau von 250–450 °C
Schallemissionen und Schwingungen lassen sich wegen höherer Frequenzen besser dämpfen.

Tabelle 8-4: Vorteile von Mikrogasturbinen gegenüber Motor-BHKWs

Für den Biogaseinsatz ausgerüstete Module werden auf dem deutschen Markt derzeit von zwei Herstellern angeboten:

- Capstone Turbine Corporation (E-quad Power Systems GbR); 30 kW<sub>el</sub>, 60 kW<sub>el</sub>
- API Com srl (ehemals Turbec); 95 kW<sub>el</sub>

Weitere Hersteller könnten geeignete Turbinen anbieten (z. B. Bowman Power Systems, Ingersoll Rand). Die Aufbereitung des Biogases ist für Mikrogasturbinen vor allem durch den nötigen Gaskompressor etwas aufwändiger im Vergleich zu Motor-BHKW [Krautkremer, 2005]. Betriebserfahrungen zum Biogaseinsatz gibt es unter anderem aus zwei Pilotvorhaben:

- Biogasanlage Loick mit Turbec T 100 [Grundke, 2003]
- Biogasanlage Eichhof mit Capstone C 30 [Schmid, 2005], [Müller, 2005]

Die Kosten für die Turbine betragen etwa 1.600 €/kW<sub>el</sub> (100 kW<sub>el</sub>) bis 2.000 €/kW<sub>el</sub> (30 kW<sub>el</sub>). Hinzu kommen Kosten für Fundamente (Bau), hydraulische und elektrische Einbindung und Planung, sodass die Kosten auf über 2.000 €/kW<sub>el</sub> (100 kW<sub>el</sub>) bis 2.700 €/kW<sub>el</sub> (30 kW<sub>el</sub>) steigen. Eine Generalüberholung ist alle 40.000 bis 60.000 Betriebsstunden erforderlich. Das Wartungsintervall ist damit viermal länger als bei

Kolbenmotoren. Die Wartungs- und Instandsetzungskosten betragen etwa 0,8 (30 kW<sub>el</sub>) bis 1,1 (100 kW<sub>el</sub>) ct/kWh<sub>el</sub>. Das ist im Vergleich zu Kolbenmotoren etwa die Hälfte der Wartungskosten.

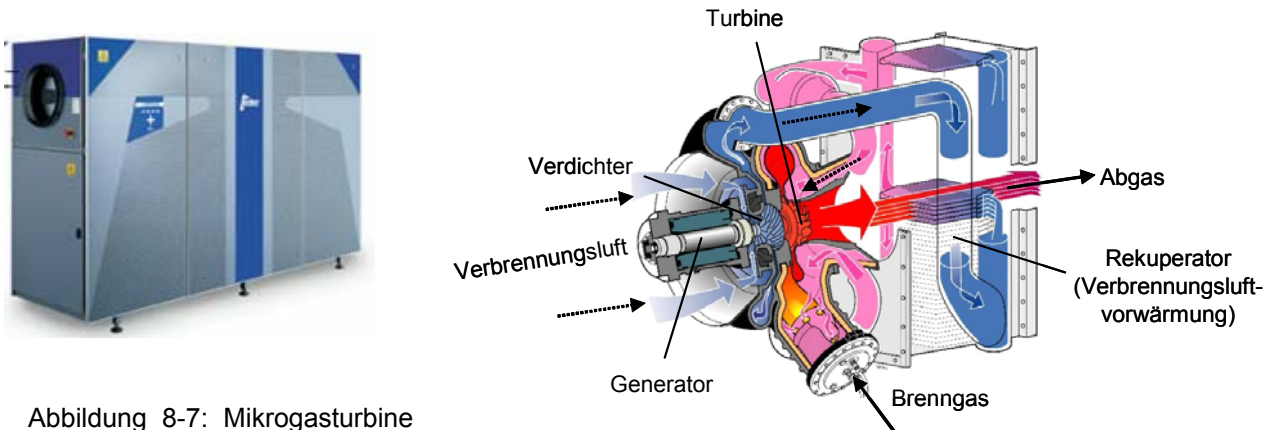


Abbildung 8-7: Mikrogasturbine  
Turbec T 100, Bauform und Funktionsweise

### Einsatz in der Referenzanlage und in der Praxis

Für einen Einsatz in den Referenzanlagen kommt aufgrund der Leistungsgröße keine der Mikrogasturbinen direkt in Betracht. Die Feuerungswärmeleistung der Biogas-Turbine des Unternehmen API/Turbec LTM 100 beträgt 316 kW<sub>Brst</sub> und liegt deutlich unter der Vergleichsleistung des Motor-BHKWs für die 150 kW<sub>el</sub> Biogas-Referenzanlage (416 kW<sub>Brst</sub>).

Ein Einsatz der Mikrogasturbine sollte insbesondere im Zusammenhang mit folgenden Möglichkeiten geprüft werden:

- Trocknung landwirtschaftlicher Güter im direkten Abgasstrom [Grundke, 2003]
- Direkte Düngung mit CO<sub>2</sub> im Abgasstrom von Zier- und Nutzpflanzen
- Erzeugung von Kälte mit Absorptionskälteprozessen, da hohes Abwärme-Temperaturniveau

## 8.5 Brennstoffzellen

### Einführung und Stand der Technik

Für klassische Motor-BHKWs ist, wie für alle Wärmekraftmaschinen, eine Effizienzsteigerung durch den Carnot-Wirkungsgrad beschränkt. Brennstoffzellensysteme sind jedoch davon nicht betroffen, da die Stromerzeugung nicht über den Umweg der Wärmeerzeugung erfolgt. Ihr Wirkungsgrad kann prinzipbedingt höher sein. Es ergeben sich jedoch Einschränkungen:

	Motor-BHKW	Brennstoffzelle
Systemwirkungsgrad	hoch	hoch
Wartungsaufwand	mittel	gering
Anforderungen an Biogas	mittel	sehr hoch
Investitionskosten	gering	sehr hoch

Tabelle 8-5: Leistungsvergleich Motor-BHKW und Brennstoffzellensystem

In allen Biogasprojekten mit Brennstoffzellen spielt die Gasaufbereitung bzw. Gasreinigung eine entscheidende Rolle, da alle Typen von Brennstoffzellen hohe Anforderungen an die Gasreinheit stellen. So muss der Wasseranteil im Biogas deutlich abgesenkt werden, um Kondensation in der Brennstoffzelle zu vermeiden. Zudem sind Schwefelwasserstoff als auch Halogen- und Alkalimetallverbindungen nahezu vollständig zu entfernen. Die bei der Mehrzahl der Biogasanlagen eingesetzte mikrobiologische Entschwefelung ist für den Einsatz des Biogases in Brennstoffzellen nicht ausreichend. Zur effizienteren Entschwefelung sind schon eine ganze Reihe verschiedener Verfahren erprobt worden: Sulfidfällung durch Zusatz von Eisenchlorid oder Eisensulfat, Adsorption an Aktivkohle sowie Gaswäsche mit Natronlauge. Bei diesen Verfahren fallen jedoch relativ hohe Betriebskosten durch den Verbrauch der Eisensalze und die Regenerierung der Adsorbierstoffe an.

Halogenverbindungen und Alkalimetalle können mit Hilfe von Druckwechseladsorption (PSA) oder Gaswäsche entfernt werden, was jedoch wiederum mit sehr hohen Betriebskosten verbunden ist.

Die Technologie der Brennstoffzellensysteme befindet sich noch in der Entwicklungsphase. Daher gibt es nur wenige marktfähige Produkte. Neben vielen Pilot- und Testanlagen, Nischenanwendungen in Raumfahrt, Schifffahrt und Camping, hat bisher nur ein einziges größeres Brennstoffzellensystem (200 kW PAFC) der amerikanischen Firma ONSI (inzwischen UTC) kommerzielle Verbreitung gefunden (weltweit etwa 200 Anlagen).

**Niedertemperatur-Brennstoffzelle** (z. B. PEM): Reagiert sehr empfindlich auf geringste Spuren von CO im Brenngas. Daher muss hier das Reformat (reformiertes Biogas) mit aufwändigen zusätzlichen Reaktoren auf den zulässigen CO-Anteil gebracht werden, wodurch zusätzliche Investitionskosten entstehen und insbesondere auch der Gesamtsystemwirkungsgrad reduziert wird.

**Hochtemperatur-Brennstoffzelle** (z. B. MCFC und SOFC): Kann neben H<sub>2</sub> auch CO als Brenngas nutzen, eine CO-Reduzierung ist nicht nötig. Außerdem ist es aufgrund der hohen Betriebstemperaturen möglich, Methan intern in der Brennstoffzelle zu reformieren, wodurch eine wesentliche Systemvereinfachung erreicht wird. Hier wirkt sich auch der (im Verbrennungsprozess eher störende) hohe CO<sub>2</sub>-Anteil positiv aus. Er ermöglicht prinzipiell ohne Zugabe von Luft (partielle Oxidation) oder Wasserdampf (Dampfreformierung) die so genannte *trockene Reformierung*:  $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2 + 2 \text{CO}$ .

Bezüglich aller anderen Verunreinigungen besteht kein eindeutiger Vorteil für einen Brennstoffzellentyp.

### **Einsatz in der Referenzanlage und in der Praxis**

Hauptvorteil könnte der elektrische Gesamtwirkungsgrad sein, der allerdings nach bisherigen Publikationen zu Pilotanlagen im Bereich um die 40 % liegt. Erst die von den MCFC-Demonstrationsanlagen in Aussicht gestellten elektrischen Wirkungsgraden von über 45 % bei gleichzeitiger Möglichkeit zu voller Abwärmenutzung lassen einen Vorteil gegenüber den Motor-BHKW erwarten.

Brennstoffzellensysteme befinden sich noch in der Entwicklungsphase. Erste Pilotprojekte können zwar die grundsätzliche Eignung darstellen, eine Marktfähigkeit unter wirtschaftlichen Aspekten ist auf absehbare Zeit noch nicht gegeben. Es wird daher auf eine weitere Detailbeschreibung verzichtet. Tabelle 13-67 im Anhang gibt eine Übersicht über Brennstoffzellenprojekte in Deutschland und der Schweiz.



## 9 BIOGASLEITUNG–VARIANTE 6

### 9.1 Einführung und Stand der Technik

#### **Biogas als Erdgasersatz**

Die weite Entfernung von Wärmeabnehmern stellt bei den Biogasanlagen ein Hauptproblem für die Wärmenutzung dar. Der Einsatz von Wärmeleitungen ist durch die vergleichsweise hohen Investitionskosten auf kurze Entfernungen beschränkt. Bei entfernteren Abnehmern bietet sich der Transport des Biogases anstelle der Wärme an.

Zum Transport des Biogases wird eine Niederdruck-Gasleitung zum Verbraucher angenommen. Für die notwendige Erzeugung des Wärmebedarfs vor Ort, für die Beheizung des Prozesses und der Wohngebäude ist eine alternative Wärmequelle erforderlich. Sowohl ein Holzhackschnitzelkessel als auch ein zweites BHKW ist dazu wirtschaftlich nutzbar.

Die sich bietenden Varianten können anhand folgender Kriterien unterschieden werden:

- Nur Entschwefelung und Trocknung des Biogases.
- Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität mit CO<sub>2</sub>-Wäscher oder Druckwechseladsorption.

Die Variante, welche eine Aufbereitung auf Erdgasqualität beinhaltet, eignet sich aufgrund hoher Investitionskosten eher für größere Biogasanlagen und wird in dieser Studie nicht betrachtet.

Berechnungen des Instituts für *Energetik und Umwelt* zeigen, dass sich für eine 500 kW<sub>el</sub> NawaRo-Anlage ohne Wärmenutzung bei der Stromproduktion ein Fehlbetrag von etwa -1 ct/kWh<sub>el</sub> ergibt, während die vergleichbare Anlage mit Gasaufbereitung und Einspeisung ins Erdgasnetz durch verbesserte Wärmenutzung auf einen Kostendeckungsbetrag von etwa +2 ct/kWh<sub>el</sub> kommt [IE, 2005] [WInst, 2005]. Die Einspeisungsvariante ins Erdgasnetz sollte also im konkreten Einzelfall bereits ab einer Anlagengröße von 500 kW<sub>el</sub> geprüft werden. Gegebenfalls ist auch der Zusammenschluss mehrerer benachbarter Biogasanlagen für eine gemeinsame Biogasaufbereitung und Biogaseinspeisung sinnvoll. Eine weitere Untersuchung zu verschiedenen Möglichkeiten der Biogasaufbereitung liegt von der *Bremer Energie Konsens GmbH* vor [Schulz, 2004].

#### **Biogas als Kraftstoff**

Eine Nutzung von Biogas als Kfz-Kraftstoff wird vor allem in Schweden und in der Schweiz erprobt [Egger, 1997]. Voraussetzung für diese Nutzung ist je nach landesspezifischen Regelungen eine weitergehende Aufbereitung auf Erdgasqualität. Die Liberalisierung des Erdgasmarktes stellt hierfür einen begünstigenden Faktor dar. Das angewiesen sein auf erdgastaugliche Kfz und entsprechende Tankstellen ist dagegen ein Hemmnis. Offen ist noch die zukünftige Besteuerung nach dem Energiesteuergesetz. Einige Faktoren (Luftschadstoffe, Treibhausgasemissionen, Flächenerträge) [Salch, 2005], [Wüst, 2006] sprechen auch für eine Nutzung von Biogas als Kfz-Kraftstoff. Diese Möglichkeit wird im Rahmen dieser Studie nicht weiter betrachtet.

## 9.2 Rechtliche Aspekte

Die Verlegung und der Betrieb einer Niederdruck-Gasleitung erfordern bei Inanspruchnahme fremder Grundstücke ähnliche Gestattungsverträge wie im Fall einer Nahwärmeleitung. Jedoch ergeben sich zusätzliche rechtliche Anforderungen daraus, dass es sich bei Biogasleitungen um Energieleitungen im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) handelt [Wieser, 2005]. Falls der Betreiber des BHKW nicht identisch mit demjenigen der Biogasanlage ist, wäre demnach eine Genehmigung entsprechend § 3 EnWG zur *Energieversorgung anderer* für die Anlage erforderlich.

Weitere rechtliche wie wirtschaftliche Konsequenzen ergeben sich daraus, dass der Bau und Betrieb der Biogasleitung entsprechend dem Regelwerk der *Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW)* erfolgen muss. Neben einer qualifizierten Planung und Errichtung ist hier insbesondere die Frage von Bedeutung, *wer* ein solches Betreiben einer Biogasleitung praktisch und rechtskonform leisten kann. Nach einer Darstellung aus der Sicht eines Energieversorgers [Wieser, 2005] kann das von einem Landwirt nicht übernommen werden, da aus deren Sicht dafür nur DVGW-konforme Betriebe in Frage kommen und aus Gründen der öffentlichen Sicherheit ein Entstördienst mit 24-Stunden-Bereitschaft erforderlich ist.

## 9.3 Randbedingungen für die Biogasleitungskonzepte

Die leitungsgebundene Verteilung von Biogas, welches lediglich entschwefelt und getrocknet wird, stellt eine kaum genutzte Variante dar. Es kann eine Gasleitung zu einem größeren Wärmenutzer verlegt und dort das BHKW betrieben werden.

Alternativ kann Biogas über ein kleineres Netz an verschiedene Endnutzer verteilt werden. Bei größeren Biogasanlagen können Biogasleitung, BHKW und kleines Nahwärmenetz kombiniert werden. Möglich sind auch mehrere BHKW-Standorte. Über die Biogasleitung wird ein günstiger BHKW-Standort versorgt. Die BHKW-Abwärme wird über ein kleines wassergeführtes Nahwärmenetz an naheliegende Kleinverbraucher für Heizzwecke genutzt.

Das untersuchte Konzept sieht vor, das Biogas über eine Niederdruckleitung an einen Ort zu bringen, an dem ein größerer Wärmeabnehmer vorhanden ist. Dort wird das BHKW aufgestellt, sodass nur kurze Wärmeleitungen notwendig sind. Im Einzelnen werden hierfür folgende zusätzliche Komponenten gegenüber der Biogas-Referenzanlage angenommen:

Zusätzliche Komponenten für die Biogasleitungskonzepte
Eine Trocknung des Biogases auf einen Taupunkt um 0 °C, um Kondensation von Wasser in der unterirdisch verlegten Gasleitung zu verhindern.
Eine Niederdruckgasleitung und ein Verdichter zur Förderung des Biogases in der Gasleitung.
Ein Aufstellplatz (z. B. Container) zur Unterbringung des BHKW beim Wärmeabnehmer.

Tabelle 9-1: Zusätzliche Komponenten gegenüber der Biogas-Referenzanlage

Außerdem ist eine Fermenterbeheizung vorzusehen, da die Abwärme des nun entfernt platzierten BHKW nicht mehr zur Verfügung steht. Hier können folgende Möglichkeiten sinnvoll realisiert werden:

Beheizungsvarianten für den Fermenter bei den Biogasleitungskonzepten
Am Ort des Fermenters ist ein zweites, kleineres BHKW installiert.
Die Fermenterbeheizung wird mit einem Hackschnitzelkessel durchgeführt.

Tabelle 9-2: Beheizungsvarianten für den Fermenter bei den Biogasleitungskonzepten

In der bereits erwähnten Studie der *Bremer Energie Konsens GmbH* [Schulz, 2004] wurde die erstgenannte Variante untersucht. Mit dem Konzept zweier BHKW-Standorte ging im Jahr 2005 eine größere Biogasanlage in Niedersachsen in Betrieb [Mühlstein, 2006]. Neben dieser Variante wird die Variante mit Holzhackschnitzelkessel betrachtet. Folgende Annahmen werden dazu getroffen:

Annahmen für die Konzepte bei den Biogasleitungskonzepten
Versorgung eines Großabnehmers, bei welchem das BHKW aufgestellt wird.
Entfernung des Großabnehmers zur Biogasanlage von 1.500 m.
Investitionskosten für die Gasleitung von 60 €/m, unter der Voraussetzung, dass es sich im Wesentlichen um freies und unbefestigtes Gelände handelt ([Bayerngas, 2005]).
Die Wärme aus dem Heizwasserkreislauf des BHKW kann von dem Großabnehmer ohne weitere Mehrinvestition ganzjährig mit einer Abwärmeausnutzung von 80 % genutzt werden.
Hackgutpreis 55 €/Tonne FM (w=35%), Holzhackschnitzelkessel-Jahresnutzungsgrad 73 %.
Wärmepreis von 35 €/MWh Wärme.

Tabelle 9-3: Konzeptdaten bei den Biogasleitungskonzepten

Für die zwei Varianten **zwei BHKW** und **BHKW & Holzhackschnitzelkessel** sind in der folgenden Tabelle die installierten Leistungen und die berücksichtigten Investitionskosten angegeben. Für den Hackschnitzel-Brennstoff werden ein Heizwert von 3,0 kWh/kg<sub>FS</sub> und Kosten von 55 €/t angesetzt.

	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
<b>zwei BHKW</b>		
BHKW 1 zur Fermenterbeheizung	25 kW <sub>el</sub>	90 kW <sub>el</sub>
BHKW 2 beim Wärmeabnehmer	120 kW <sub>el</sub>	415 kW <sub>el</sub>
Mehrinvestition gegenüber Referenzanlage	275.000 €	350.000 €
<b>BHKW &amp; Hackschnitzelkessel</b>		
Hackschnitzelkessel beim Fermenter	50 kW <sub>th</sub>	140 kW <sub>th</sub>
BHKW beim Wärmeabnehmer (wie Referenzanlage)	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Mehrinvestition gegenüber Referenzanlage	311.000 €	366.000 €

Tabelle 9-4: Kenndaten der Varianten mit Biogasgasleitung

Weitere Daten finden Sie im Anhang, Abschnitt 13.8, Tabelle 13-68 und Folgende.

### 9.4 Wirtschaftlichkeit der Biogasleitungskonzepte

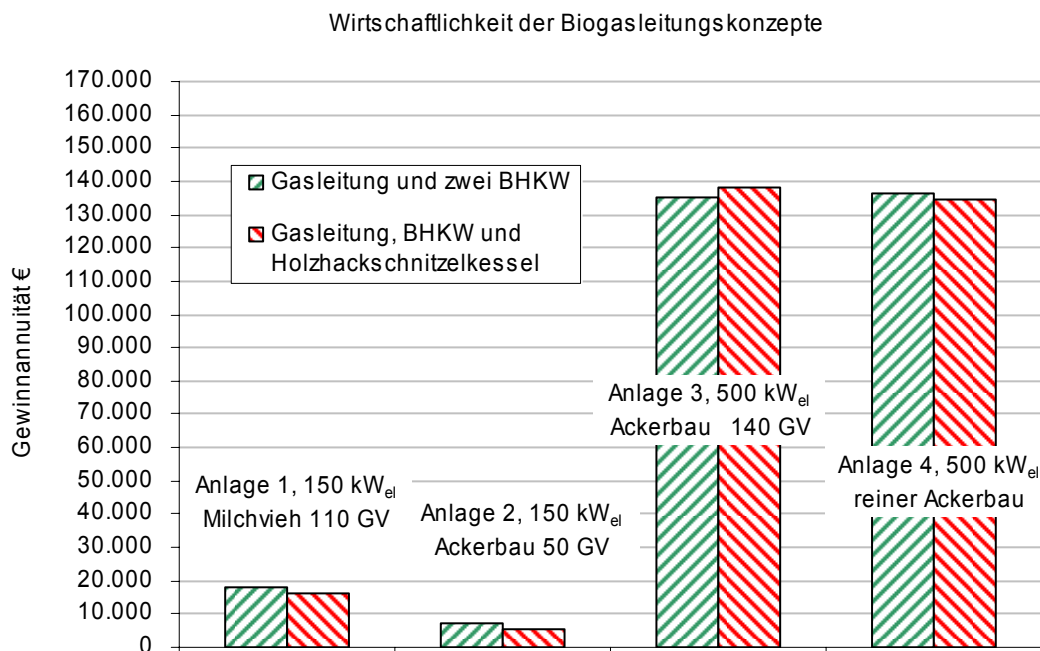


Abbildung 9-1: Gewinnannuität der Biogasleitungskonzepte. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Biogasanlage und der Wärmenutzungsvariante.

Beide Konzepte sind annähernd gleich gut. Die Biogasleitung ist wirtschaftlich interessant für die Anlagengröße 500 kW<sub>el</sub> und darüber. Für die Wirtschaftlichkeit der Biogasleitung mit Holzhackschnitzelkessel wird eine Sensitivitätsbetrachtung für verschiedene Parameter durchgeführt.

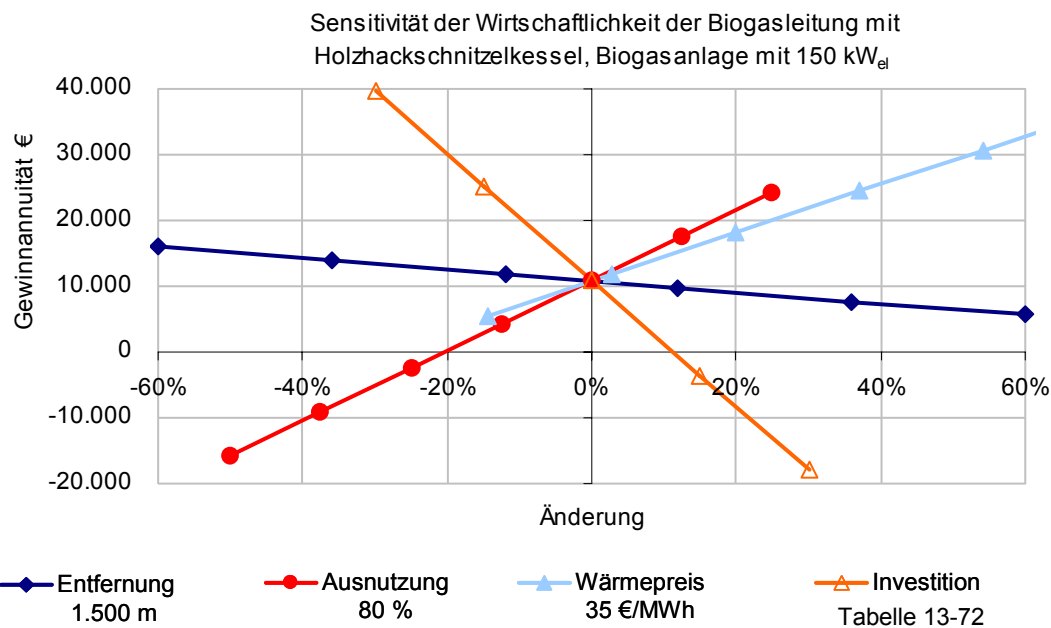


Abbildung 9-2: Sensitivität der Gewinnannuität, Biogasleitung mit Holzhackschnitzelkessel, Biogasanlage 150 kW<sub>el</sub>. Berücksichtigt sind alle Kosten und Erlöse der Biogasanlage und der Wärmenutzungsvariante.

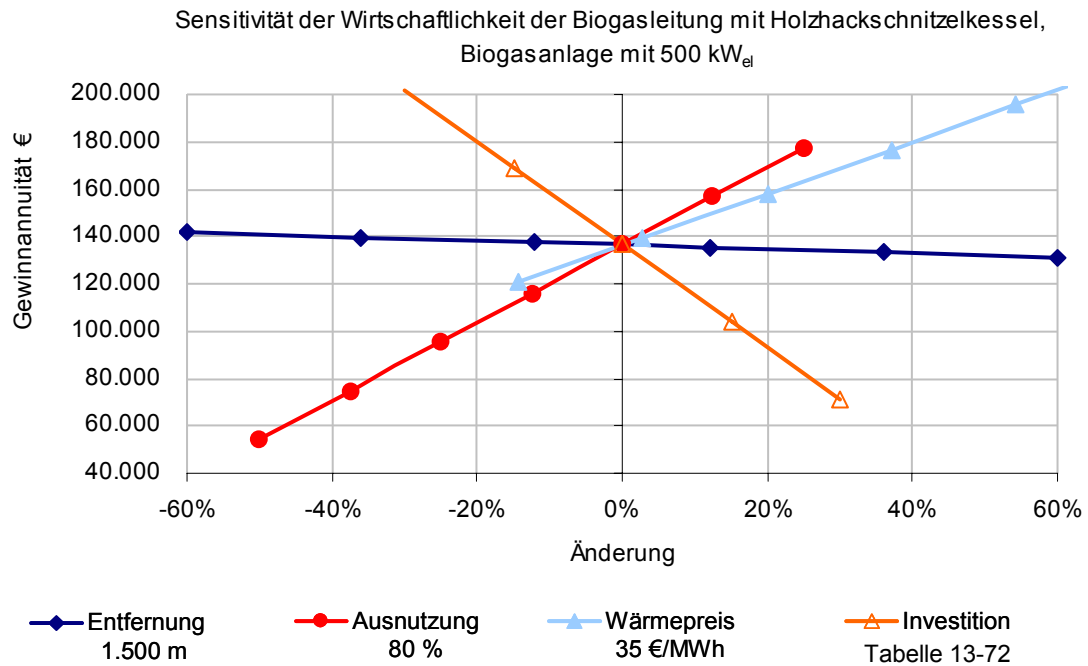


Abbildung 9-3: Sensitivität der Gewinnannuität, Biogasleitung mit Holzhackschnitzelkessel, Biogasanlage 500 kW<sub>el</sub>. Berücksichtigt sind alle Kosten und Erlöse der Biogasanlage und der Wärmenutzungsvariante.

#### Lesebeispiel:

500 kW<sub>el</sub> Anlage: Bei 0 % ist der Ausgangszustand für die betrachteten Anlagen abzulesen. Die Gewinnannuität beträgt etwa 140.000 €. Bei Änderung der Investition um +20 % reduziert sich die Gewinnannuität auf etwa 90.000 €. Eine Änderung um -20 % erhöht die Gewinnannuität auf etwa 180.000 €. Bei einer Änderung der Abwärmeausnutzung von 80 % auf 60 % (-20 %) sinkt die Gewinnannuität auf etwa 105.000 €

Bei den Anlagen ist zu erkennen, dass eine Verbesserung am ehesten durch eine Minderung der Investitionskosten oder durch eine Steigerung des Wärmepreises erreicht werden kann. Die 500 kW<sub>el</sub> Anlagen können mit den getroffenen Annahmen eine gute Wirtschaftlichkeit erreichen.

An der schwachen Steigung für die Entfernung des Abnehmers ist zu erkennen, dass dieser Parameter nicht entscheidend ist. Die Auswirkungen auf den Gewinn ist im Diagramm bis 2.400 m Entfernung dargestellt.

## 10 PRAXISBEISPIELE DER ABWÄRMENUTZUNG

### 10.1 Bayerische Biogasanlagen mit Abwärmenutzung

Biogasanlage	Leistung kW <sub>el</sub>	Wärmenutzung
Fensterbach	330	Gärtnerei, Schloss, Nebengebäude, Getreide- und Holz-hackschnitzeltrocknung, Lackiererei
Bad Birnbach	330	Betriebsgebäude, Hackschnitzeltrocknung
Mengkofen	2 x 250	Wohnhaus, Handwerksbetrieb
Buch a. Erlbach	500	Wohnhaus
Hurlach	2 x 250	Schloss, Werkstatt, Mehrfamilienhaus, Gaststätte
Waldmünchen	500	Nahwärmenetz mit 11 Gebäuden, im Sommer Schnittholztrocknung
Merkendorf	324	Nahwärmenetz mit 3 Gebäuden
Roding	450	2 Wohnhäuser, Werkstatt, Waschanlage für Behälter, Holzhack-schnitzeltrocknung
Irlbach	536	Schloss, Schwimmbad u. Bürogebäude, Holzhackschnitzel- und Brennholztrocknung
Reisbach	500	Stall, Haus
Kirchenlamitz	135	Heizung Wohnhaus, Heizung Werkstatt
Selb	100	2 Wohnhäuser, Halle, Werkstatt, Getreidetrocknung
Selb	200	2 Wohnhäuser, Halle, Werkstatt, Nahwärmeleitung zur Schule
Wunsiedel	180	Heizung Wohnhaus, Werkstatt, 4 Wohnungen
Arzberg	700	Industrieabnehmer und Beheizung eines Bürogebäudes
Helmbrechts	330	Wohnhaus
Bamberg	660	Gärtnerei (Orchideenzucht)
Rehau	330	Heizung eigenes Wohnhaus/Hof, Getreidetrocknung

Tabelle 10-1: Beispiele einiger Biogasanlagen mit Abwärmenutzung

## 10.2 Kombinationen von Abwärmenutzungsmöglichkeiten

In der Biogasanlage Wolfring in Fensterbach im Regierungsbezirk Oberpfalz sind mehrere Abwärmenutzungsmöglichkeiten in Kombination realisiert. Die Anlage wurde 2002 mit einem Gasmotor mit 330 kW<sub>el</sub> Leistung in Betrieb genommen. 2006 wurde aufgrund von Überkapazitäten in der Gasproduktion das BHKW mit einem 526 kW<sub>el</sub> Motor ersetzt (thermische Leistung 566 kW).

Die Anlage ist als Durchflussfermentation mit zwei liegenden Fermentern und Nachgärer ausgeführt. Als Substrate werden zu gleichen Teilen Hühnermist und Silomais, sowie Grassilage und Maisschrot zu geringeren Teilen eingesetzt. Die Gesamtsubstratmenge beträgt etwa 10 000 t<sub>FM</sub> pro Jahr, die Zusammensetzung ist dabei über das Jahr weitgehend konstant.

Die gesamte Abwärme der Anlage wird genutzt. Neben der Beheizung des Fermenters werden das Wohngebäude, Gewächshäuser einer benachbarten Gärtnerei sowie eine Lackiererei versorgt. Im Sommer, wenn keine Gebäudebeheizung erfolgt, wird für drei Wochen Getreide getrocknet. Überschüssige Wärme wird ansonsten zur Hackschnitzeltrocknung verwendet. Die Hackschnitzel werden in einem, mit einem doppelten Boden versehenen Container von unten mit heißer Luft durchströmt. So können ca. 22 m<sup>3</sup> Schüttgut in einer Charge getrocknet werden.

Die Wärmelieferung aller Verbraucher ist über einen 12 m<sup>3</sup> großen thermischen Speicher gepuffert, welcher gleichzeitig als hydraulische Weiche dient. Als Spitzenlast- und Reservewärmeerzeuger wird ein Ölkessel mit 250 kW thermischer Leistung eingesetzt. Alle Wärmeabnehmer befinden sich innerhalb 100 m Entfernung.

Gebäude/Wärmenutzung		Leistung
Wohnhausbeheizung		100 kW
Gewächshausbeheizung	6 Gewächshäuser, insgesamt ca. 2.600 m <sup>2</sup>	350 kW
Getreidetrocknung	30 Wochen im Sommer, belüftete Silos	100 kW
Heizung Lackiererei	200 m <sup>2</sup> Fußbodenheizung, Luftheizung für Lackierzelle	400 kW
Hackschnitzeltrocknung	Containertrocknung	380 kW

Tabelle 10-2: Wärmennutzung bei der Biogasanlage Wolfring in Fensterbach, Angaben sind Zirkawerte



Abbildung 10-1 Warmluftbeheizung Gärtnerei



Abbildung 10-2 Warmwasserbeheizung Gärtnerei

Wärmeverteilung BGA Fensterbach – Vereinfachtes Hydraulikschema

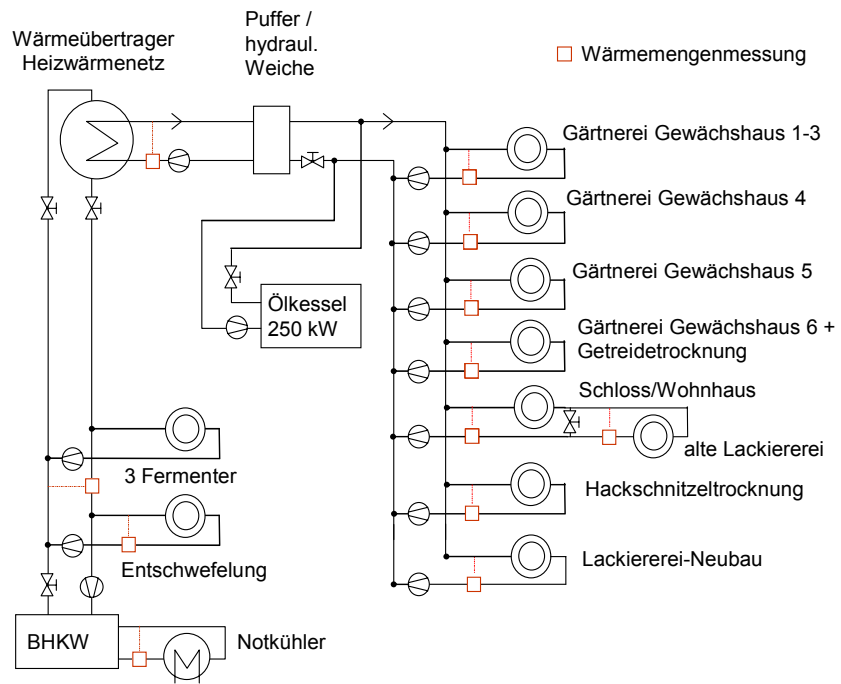


Abbildung 10-3: Anschlussschema der Abwärmeverbraucher



Abbildung 10-4 Container zur Holzhackschnitzeltrocknung



### 10.3 Holzhackschnitzeltrocknung

Eine Holzhackschnitzeltrocknung ist die Hauptabwärmenutzung einer Biogasanlage bei Bad Birnbach im Kreis Rottal-Inn. Der landwirtschaftliche Betrieb umfasst 88 ha Land und 150 GV Mastbullen. Die zweistufige Anlage ist im September 2006 in Betrieb gegangen. Zur Stromerzeugung wurde ein 330 kW<sub>el</sub> Modul mit einer thermischen Leistung von 405 kW installiert. Zusätzlich kommt ein Zündstrahlmotor mit 340 kW<sub>el</sub> Leistung zum Einsatz, der bei Ausfällen des Gasmotors den Betrieb aufrechterhält und auch zur Verarbeitung von problematischen Gasqualitäten und Überkapazitäten dient.

Als Substrate werden Mastbullengülle, Silomais und Feuchtgetreide eingesetzt. Die Gesamtsubstratmenge soll jährlich ca. 5 500 Tonnen betragen.

Die Abwärme des BHKWs deckt den Wärmebedarf des eigenen Wohnhauses, des Wohnhauses eines Nachbarn sowie die Heizung eines Aufzuchtstalls für Mastbullen. Diese Abnehmer befinden sich alle in einem Umkreis von 70 m. Die restliche Wärme wird zur Trocknung von Holzhackschnitzeln sowie gegebenenfalls weiterer Schüttgüter verwendet. Die Trocknung erfolgt in einem Flachlager, in welchem am Boden drei Belüftungsschlitze integriert sind. Die Trocknungsluft wird vom Gebläse durch den Aufstellungsraum der BHKWs hindurch zum Luft-Wasser-Wärmeübertrager gesaugt und durchströmt dann die Hackschnitzelschüttung. Über die Luftführung durch den BHKW-Raum kann die Strahlungswärme der BHKWs, ca. 25–30 kW, ebenfalls genutzt werden. Das Flachlager ist 12 m lang und 3,7 m breit, die Schütthöhe der Hackschnitzel beträgt bis zu 1 m. Es können gut 30 m<sup>3</sup> Schüttgut getrocknet werden. Das Lager wird durch einen Teleskoplader befüllt und entleert.

Gebäude/Wärmenutzung		Leistung
Wohnhausbeheizung	Wohnhaus, Nachbar	ca. 60 kW
Hackschnitzeltrocknung	Flachlagertrocknung	ca. 305 kW
Stallbeheizung	Mastbullenaufzucht	ca. 40 kW

Tabelle 10-3: Wärmennutzung bei der Biogasanlage bei Bad Birnbach



Abbildung 10-5 Flachlager zur Holzhackschnitzeltrocknung

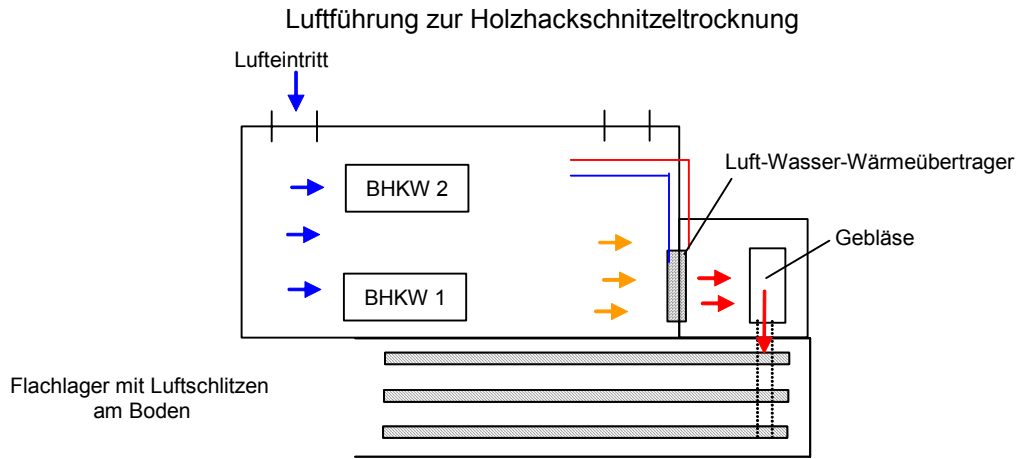


Abbildung 10-6 Luftführung der Trocknungsluft zur Holzhackschnitzeltrocknung

### Wärmeverteilung Bad Birnbach

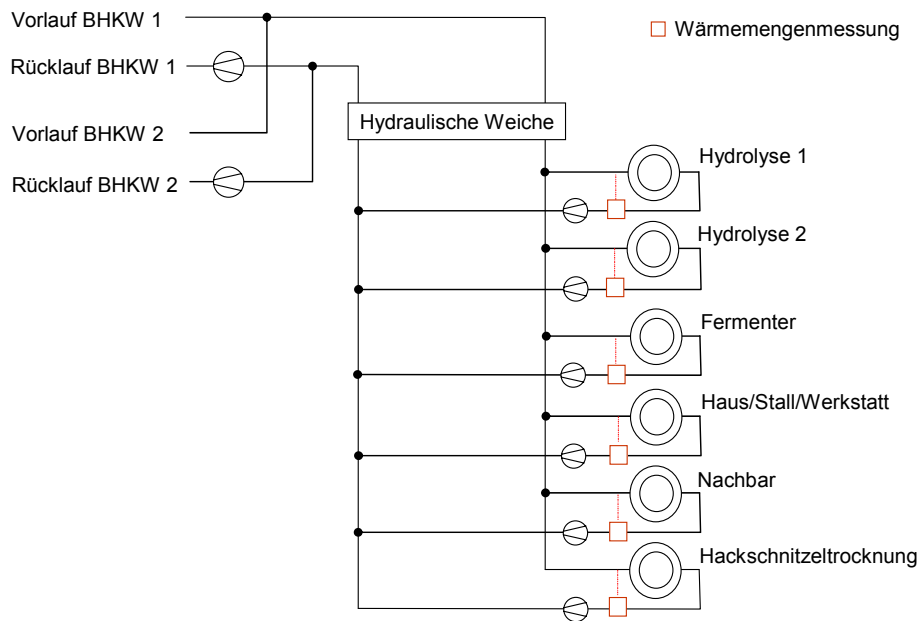


Abbildung 10-7: Anschlussschema der Abwärmeverbraucher

# 11 TREIBHAUSGASEMISSIONEN

## 11.1 Treibhausgasbilanz der Biogas-Referenzanlagen

Die energetische Biomassenutzung wird als klimaneutral angesehen, da der als CO<sub>2</sub> emittierte Kohlenstoff des Brennstoffs beim Wachstum der Pflanze aus der Luft in die Pflanzensubstanz eingebunden wird. Die verbrennungsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen des BHKW-Motors werden daher in der Studie nicht berücksichtigt. Bei der Aufstellung einer Treibhausgasbilanz sind jedoch indirekte klimawirksame Emissionen zu beachten, die z. B. beim Anbau, der Behandlung und dem Transport der Substrate, bei der Verbrennung und bei der Verwendung des Gärrests freigesetzt werden. Hier sind vor allem die Emissionen der Treibhausgase Methan CH<sub>4</sub>, Lachgas N<sub>2</sub>O und Ammoniak NH<sub>3</sub> von Bedeutung. Die für die Berechnung verwendeten Faktoren für das Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential) dieser Gase betragen:

- CH<sub>4</sub>: 23
- N<sub>2</sub>O: 296
- NH<sub>3</sub>: 2,96

Das indirekt klimawirksame Ammoniak wird berücksichtigt, da dessen Deposition bei Abbauprozessen Lachgasemissionen verursachen kann [StMUGV, 2004], [Clemens, 2003], [Roschke, 2003]. Eine exakte Datenangabe ist schwer möglich, da wenig Daten und Messungen zur Verfügung stehen. Auftretende Emissionen sind von vielen Faktoren und Randbedingungen abhängig, welche sich von Anlage zu Anlage unterscheiden. Die zusammenfassende Abschätzung kann als Anhaltswert dienen.

### **Annahmen für die Berechnung**

In der folgenden Abbildung sind die berücksichtigten Prozessschritte dargestellt.

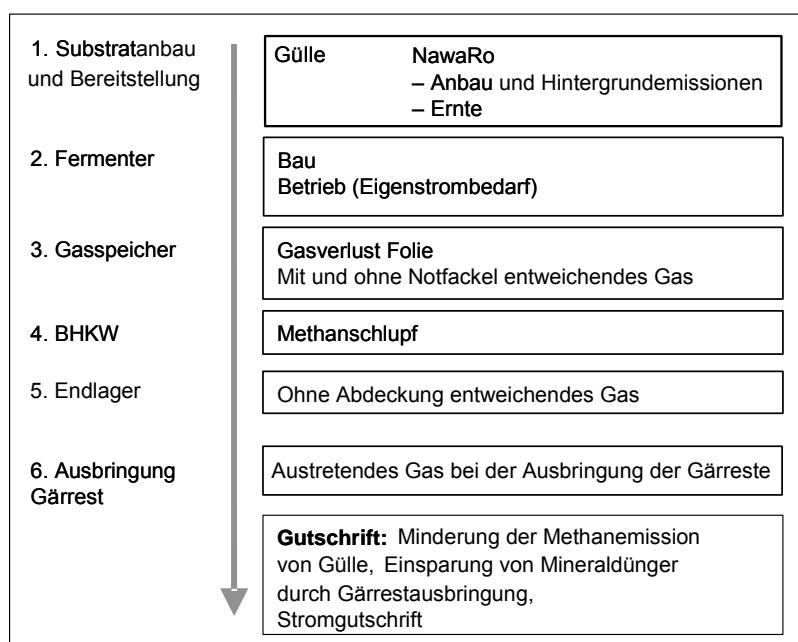


Abbildung 11-1: Prozessschritte der Biogaserzeugung mit Emissionen

In der Bilanz werden folgende Aspekte als CO<sub>2</sub>-Gutschriften angerechnet:

- Vermiedene Methanemissionen durch Biogaserzeugung aus Gülle.
- Gutschrift für den vermiedenen Mineräldüngereinsatz.
- Gutschrift für Heizanwendung in den Referenzanlagen.
- Gutschrift für den CO<sub>2</sub> neutral erzeugten Strom.

Weitere Angaben dazu finden Sie im Anhang im Abschnitt 13.9 Treibhausgasbilanz. Die sich ergebenden Treibhausgasemissionen der modellierten Referenzanlagen (Raumbelastung 2,5 kg<sub>TM</sub>/m<sup>3</sup>\*d; abgedecktes Gärrestendlager mit Anschluss an die Gasverwertung im Motor) werden mit den Emissionen von Anlagen verglichen, die ohne Endlagerabdeckung und ohne Notfackel ausgeführt sind. Durch den Betrieb einer Notfackel können Biogasfreisetzungen bei Betriebsstörungen (z. B. durch Ansprechen der Überdrucksicherungen) oder bei Wartungsarbeiten an der Motoranlage vermieden werden.

### **Ergebnisse**

Detailliert sind die jeweils errechneten Anteile an den Treibhausgasemissionen, angegeben als CO<sub>2</sub>-Äquivalente, in Abbildung 11-2 dargestellt. Direkt und indirekt verursachte Treibhausgasemissionen sind positiv aufgetragen, CO<sub>2</sub>-Gutschriften sind negativ aufgetragen. Betrachtet werden absolute Jahreswerte. Die Gutschrift für die angenommene Abwärmenutzung in den Referenzanlagen (Fermenterbeheizung, Gebäudebeheizung) ist so gering, dass der Beitrag im Diagramm kaum erkennbar ist.

In der Abbildung 11-2 sind die Emissionen bei Ausführung des Gärsubstratendlagers ohne Abdeckung und ohne Betrieb der Anlage mit einer Fackelanlage besonders hervorgehoben. Das Methan-Restgaspotenzial wurde mit 5 %, bezogen auf die erzeugte Methanmenge (siehe Tabelle 13-79) angenommen. Deutlich ist in Abbildung 11-3 und Abbildung 11-4 das hohe CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial zu erkennen, das durch die Abdeckung des Gärsubstratendlagers in Kombination mit einem Anschluss an die Gasverwertung sowie mit dem Betrieb einer Fackelanlage zur Vermeidung von Biogasfreisetzungen zu erzielen ist. Bei den Anlagen 1 und 2 im Leistungsbereich von 150 kW<sub>el</sub> und bei der Anlage 3 im Leistungsbereich von 500 kW<sub>el</sub> wird bei der offenen Lagerung von Gärresten nur bei einem entsprechend hohen Einsatz von Gülle und die dadurch zu erzielende Gutschrift für vermiedene Methanemissionen eine Einsparung von Treibhausgasen im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung erreicht.

Der Wert für die vermiedenen Methanemissionen durch Biogaserzeugung aus Gülle wurde mit 78 % für den Einsatz von Rindergülle (Tabelle 13-79) angenommen. Die Treibhausgasemissionen der Anlage 4, die ohne den Einsatz von Gülle, d. h. ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen betrieben wird, sind bei offenem Gärsubstratendlager vergleichbar mit dem deutschen Kraftwerksmix.

Deutlich zeigt sich beim Vergleich von Abbildung 11-2 bis Abbildung 11-4 der entscheidende Einfluss des Restgaspotenzials aus dem Gärrestelager auf die Treibhausgasbilanz. Zum Vergleich werden daher zusätzlich die Ergebnisse bei einem angenommenen Restgaspotenzial von 10 % aus einem offenen Gärsubstratendlager dargestellt (Abbildung 11-5 bis Abbildung 11-7). In diesem Fall werden im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung (deutscher Kraftwerksmix, Heizöl für die Wärme) deutlich höhere spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anlagentechnik und die Betriebsweise (offene Gärsubstratendlager, Überproduktion ohne Notfackel, defekte oder überdehnte einschalige Membran, erhöhter Methanschluß durch schlecht gewarteten Motor) von Biogasanlagen einen entscheidenden Einfluss auf die Treibhausgasbilanz haben. Beim Vergleich der Referenzanlagen mit 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> und gleichem prozentuellem Gülleanteil (Anlagen 2 und 3) zeigt sich auch, dass sich vor allem der höhere elektrische Wirkungsgrad der größeren Motoranlage mindernd auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen auswirkt. Die spezifische CO<sub>2</sub>-Einsparung je kWh<sub>el</sub> in Abbildung 11-4 ist bei der Anlage 1 mit 150 kW<sub>el</sub> im

Vergleich zu den 500 kW<sub>el</sub> Anlagen aufgrund des höheren Gülleanteils am Substrat (vermiedene Methanemissionen durch Biogaserzeugung aus Gülle) höher.

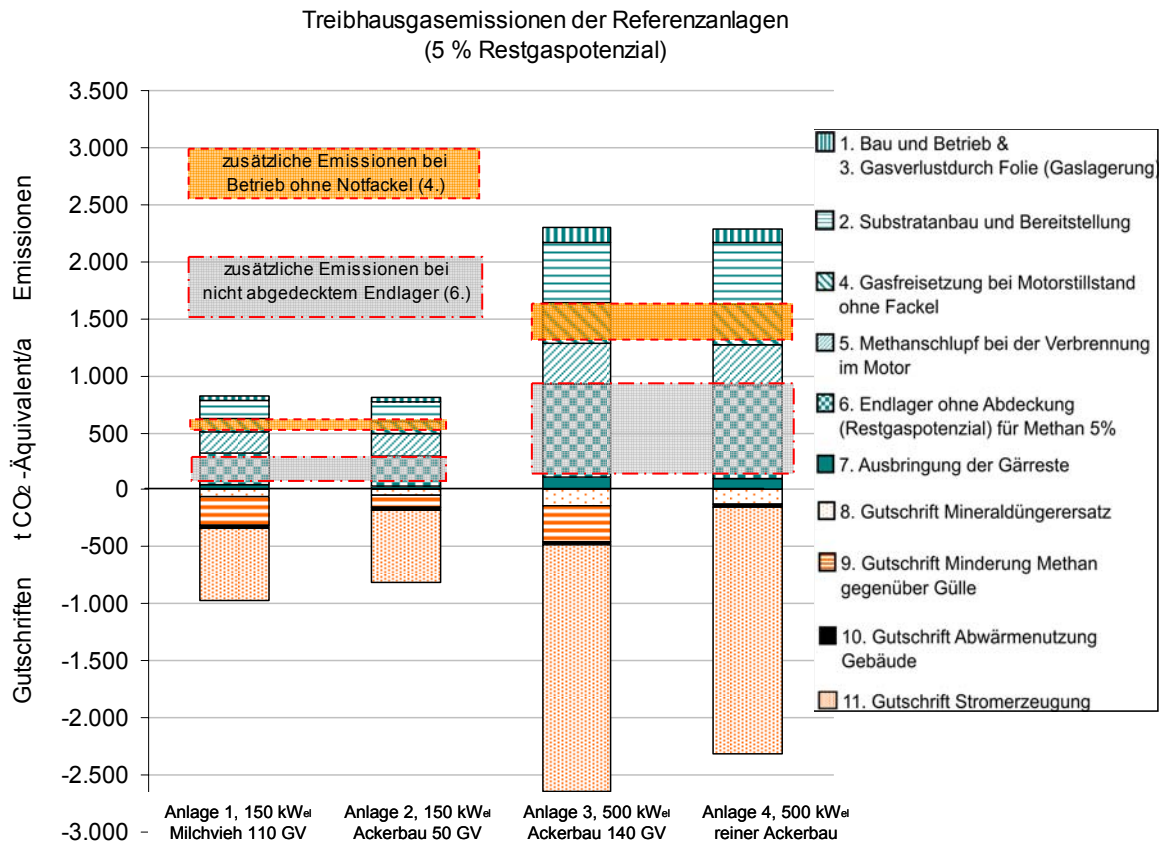


Abbildung 11-2: Absolute Treibhausgasemissionen der Referenzanlagen bei 5 % Restgaspotenzial

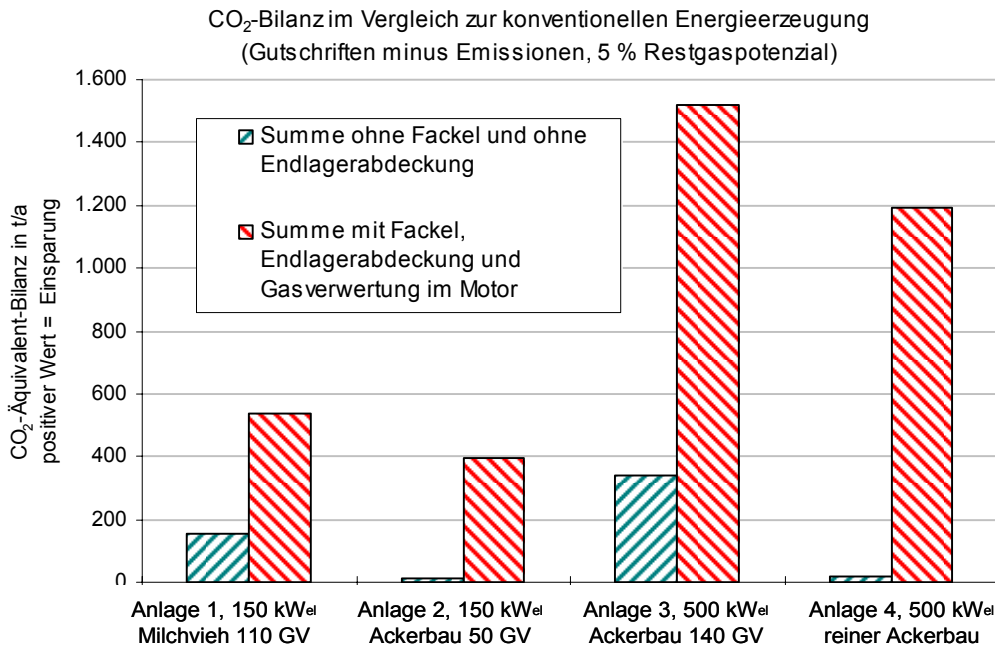


Abbildung 11-3: CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich zur konventionellen Erzeugung bei 5 % Restgaspotenzial

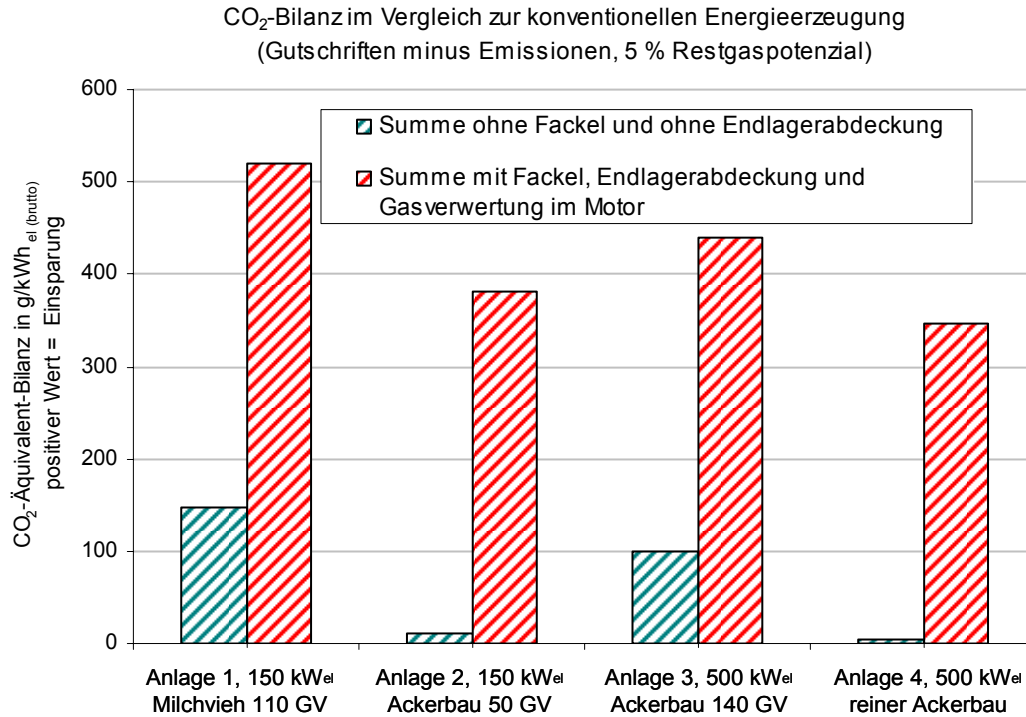


Abbildung 11-4: CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich zur konventionellen Erzeugung bei 5 % Restgaspotenzial  
Zum Vergleich sind in den folgenden Abbildungen die Ergebnisse bei 10 % Restgaspotenzial dargestellt.

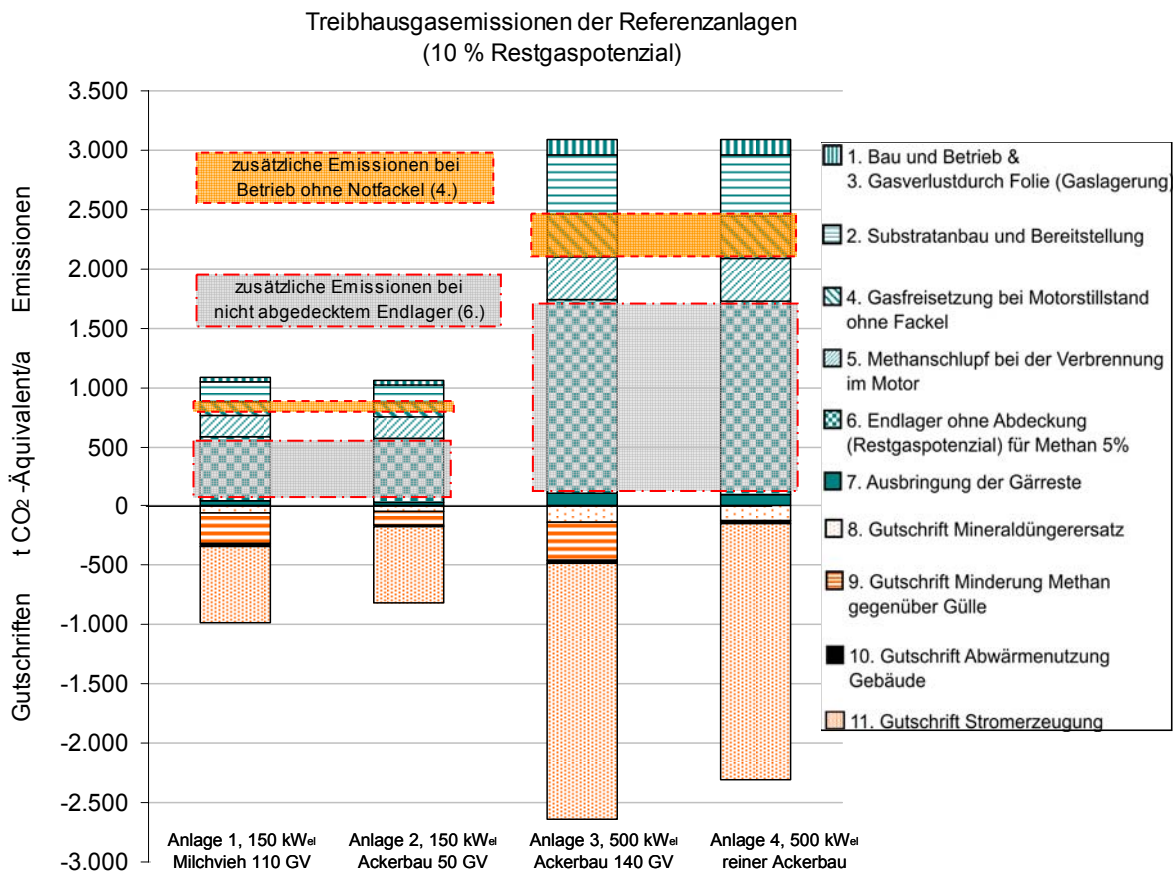


Abbildung 11-5: Absolute Treibhausgasemissionen der Referenzanlagen bei 10 % Restgaspotenzial

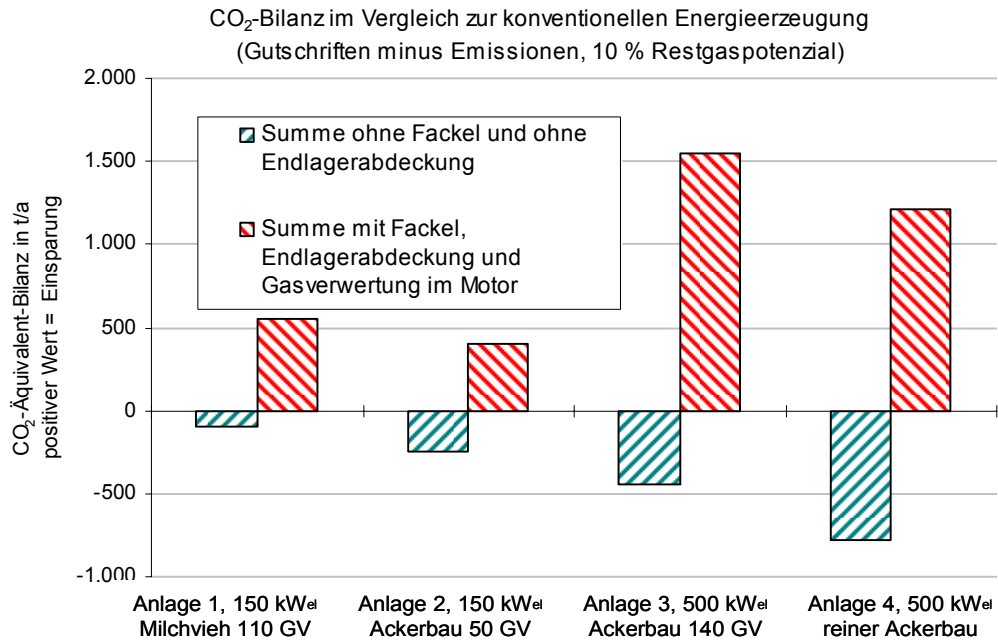


Abbildung 11-6: CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich zur konventionellen Erzeugung bei 10 % Restgaspotenzial

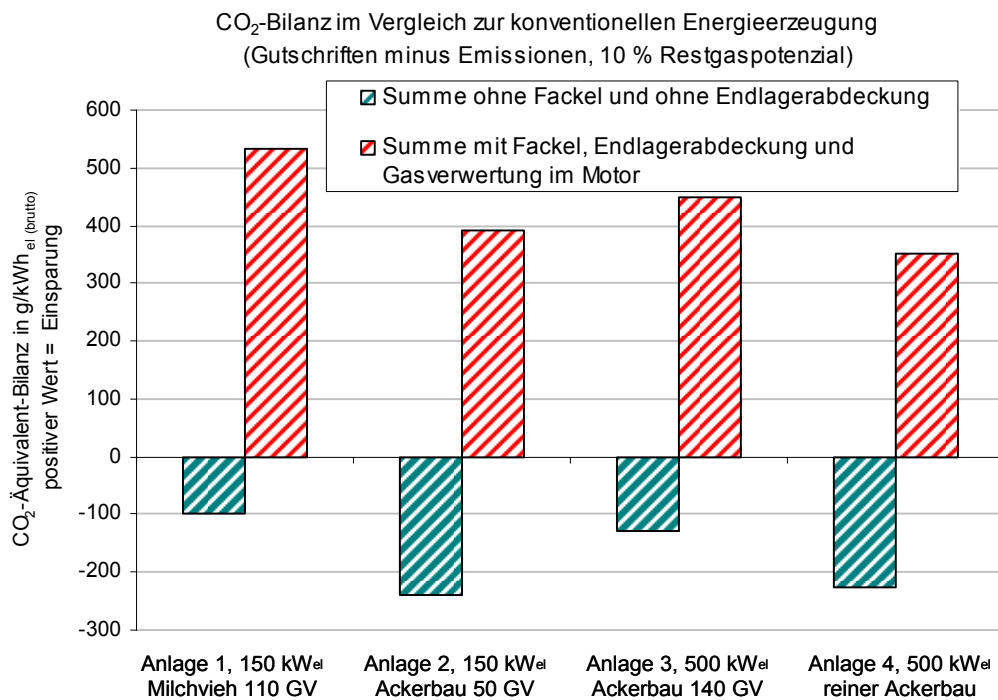


Abbildung 11-7: CO<sub>2</sub>-Bilanz im Vergleich zur konventionellen Erzeugung bei 10 % Restgaspotenzial

Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang Abschnitt 13.9.

## 11.2 Treibhausgasbilanz der Abwärmenutzungsvarianten

Die mit den beschriebenen Wärmenutzungsvarianten erreichbaren Verbesserungen bei den klimarelevanten Emissionen gegenüber den Referenzanlagen sind in der Zusammenfassung in den Abbildungen 3-9 und 3-10 im Abschnitt 3.2.3 *Reduktion von Treibhausgasemissionen* zu finden. Die erzielbaren Verbesserungen in der Treibhausgasbilanz liegen je nach untersuchter Variante im Bereich von ca. 10–70 %. Weitere Details zur Berechnung finden Sie im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-90.

Gutschriften für ersetzte thermische Prozesse werden auf der Basis eines Ersatzes von Heizöl (311 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh<sub>Brst</sub>) berechnet. Bei der Variante Holzhackschnitzeltrocknung wird für das Vergleichszenario angenommen, dass die Trocknungsenergie zwar mit einem Hackschnitzelkessel erzeugt wird, diese für die Trocknung verwendete Hackschnitzelenergie jedoch anderorts fossile Energieträger ersetzen könnte. Somit wird auch für die Holzhackschnitzeltrocknung der Ersatz von Heizöl auf Basis von 311 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh<sub>Brst</sub> unterstellt. Als Jahresnutzungsgrad für die Feuerung wurden 80 % angenommen.

Der Verbrauch an elektrischem Strom z. B. für Gebläse, Pumpen wird mit dem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 625 g/kWh<sub>el</sub> [GEMIS, 2007] für den deutschen Strommix angerechnet.

Die bei der Trocknung von Klärschlamm berechnete Gutschrift berücksichtigt vereinfachend einen in Bayern üblichen Verwertungsweg: Etwa 42 % des Klärschlammes werden thermisch verwertet. Die Hälfte davon wird in Kohlekraftwerken mitverbrannt. Für 25 % des eingesetzten Klärschlammes wird daher eine mittlere CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen für die Verfeuerung von Braun- und Steinkohle in der Höhe von 446 g/kWh gutgeschrieben.

Beim Einsatz des mobilen Zeolithspeichers wird Wärme und Trocknen auf Basis Heizöl gutgeschrieben. Klimatisierung wird mit dem deutschen Strommix gutgeschrieben.

Der Emissionsanteil des Transports wird auf der Basis eines Diesel-LKW mit 25 Liter Diesel pro 100 km Verbrauch errechnet. Es ergibt sich eine Emission von etwa 780 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/km.

Bei den untersuchten Varianten zur Bereitstellung von Kälte mit der Abwärme wird herkömmliche Kälteerzeugung mit elektrischer Energie eingespart. Diese wird mit dem Wert des deutschen Strommix gutgeschrieben.

Für den Biodieselvebrauch (RME) beim Zündstrahlmotor werden Emissionen in Höhe von 1.109 g CO<sub>2</sub> pro Liter RME berücksichtigt [Ludwig-Bölkow Systemtechnik, 2006]. Gegenüber Diesel mit 3.110 g CO<sub>2</sub> pro Liter entspricht das einer Einsparung von 2.000 g CO<sub>2</sub> pro Liter RME.

Für die Variante der Gasleitung werden die zusätzlichen Emissionen durch die Hackschnitzelheizung für den Fermenter mit 22,5 g/kWh Wärme berücksichtigt.



## 12 LITERATURVERZEICHNIS

- [AGFW, 2002] Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft-AGFW-e. V. bei dem VDEW (Hrsg.), Arbeitsblatt FW 308, Zertifizierung von KWK-Anlagen-Ermittlung des KWK-Stromes, Frankfurt 2002
- [ALB, 2004] Arbeitsblatt Landwirtschaftliches Bauwesen, Biogas I/II, ALB Bayern e. V., Sept. 2004
- [ASUE, 1995] ASUE, Absorptionskälteanlagen-Grundlagen und Referenzen, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch, 1995
- [Bayerngas, 2005] Bayerngas GmbH, Mitteilung von Herrn Thielmann mit überschlägiger Kostenaufstellung, Juli 2005
- [Berenz 2006] Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Herr Berenz, pers. Mitteilung, Febr. 2006
- [Biernath, 2005] D. Biernath: Hier wird neben Brennholz auch Wärme produziert, Zeitschrift Energiepflanzen 3/2005, S. 30–32
- [Biernath, 2006] D. Biernath: Brennholztrocknung mit der Biogasanlage, Zeitschrift Energiepflanzen 2/2006, S. 32–33
- [Bio-Allgäu, 2005] Preisliste des Biomassehofs Allgäu, [www.holzbrennstoffe.de/download/preislistebroschuere.pdf](http://www.holzbrennstoffe.de/download/preislistebroschuere.pdf)
- [Böhnisch, 2004] H. Böhnisch: Grüne Nahwärme im Gebäudebestand-derzeitige Situation und Perspektiven, in: Tagungsband Nahwärme-Forum 2004, Umsicht-Schriftenreihe Band 49, S.3–23
- [Braun, 2000] B. Braun: Bewertung von Luftentfeuchtung in Schwimmbädern mittels Sorptionstechnik anhand von Simulationen, Diplomarbeit TU-München, März 2000
- [Bund, 2004] Deutscher Bundestag 15. Wahlperiode: Begründung zu den gleichlautenden Gesetzentwürfen der Bundesregierung sowie der Fraktionen SPD und BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN-Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich, Drucksache 15/2864, 2004
- [BMU\_EE, 2006] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Beitrag der erneuerbaren Energien zur Energiebereitstellung 2006, [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de)
- [Bux, 2005] M. Bux: Solare Trocknung: Charakteristika solarer Trocknungsanlagen, in: Faustzahlen für die Landwirtschaft, Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 13. Auflage, KTBL, Darmstadt, 2005, S. 953–955
- [CARMEN, 2005] [www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de), Hackschnitzelpreise, Fernwärmepreisvergleich
- [Cavelius, 2004] R. Cavelius, M. Heib, K. Kimmerle und H. Altgeld: Vergütungsmodelle für KWK-Anlagen im Vergleich, BWK Bd. 56 (2004), Nr. 9, S. 65–70
- [Clemens, 2003] J. Clemens, S. Wulf et al.: Untersuchung der Emission direkt und indirekt klimawirksamer Spurengase während der Lagerung und nach der Ausbringung von Kofermentationsrückständen, Abschlussbericht DBU AZ 08912, Bonner Agrikulturchemische Reihe Band 16, Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz INRES, Fachbereich Pflanzenernährung, Bonn 2003
- [Clemens, 2006] J. Clemens, M. Trimborn, P. Weiland, B. Amon: Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry, in Agriculture, Ecosystems & Environment, Volume 112, Issues 2–3, 2006, S. 171–177

- [Cremer, 2004] P. Cremer: Biogasanlage mit Block-Heiz-Kraftwerk, Version 3.0, Rechenprogramm zum detaillierten Kosten / Nutzen-Vergleich, Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft e. V. (AEL), Frankfurt am Main, 2004
- [destatis, 2005] Statistisches Bundesamt Deutschland, Preise, Löhne, Gehälter, [www.destatis.de](http://www.destatis.de)
- [Dielmann, 2004] K. Dielmann: Nutzung biogener Brenngase in Mikroturbinen, OTTI Profiforum Kraft-Wärme-Kopplung mit Biomasse, Garching bei München, 24.–25. März 2004
- [DIN, 2003] Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, DIN V 4108-6:2003-06, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 2003
- [DIN, 2005] Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN: Feste Biobrennstoffe-Brennstoffspezifikationen und -klassen; Deutsche Fassung CEN/TS 14961:2005-05, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 2005
- [Eder, 2006] Landesanstalt für Landwirtschaft, Frau Eder, pers. Mitteilung, März 2006
- [Egger, 1997] K. Egger: Nova Energie, Tänikon / Schweiz, Kompo-Mobil-Biogasnutzung in Fahrzeugen (Schlussbericht), Schweizerisches Bundesamt für Energiewirtschaft 1997
- [Eurostat, 2005] Eurostat, Umwelt und Energie, Energie-Preise, <http://epp.eurostat.cec.eu.int>
- [Fahl, 2003] U. Fahl, U. Remme, M. Blesl, A. Voß: Analyse nachhaltiger Entwicklungen der Energieversorgung in Deutschland und ihre regionalen Auswirkungen auf Bayern mit besonderer Berücksichtigung der Konsequenzen des Kernenergieausstiegs, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart, 2003
- [Feller, 2007] B. Feller: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster
- [FNR, 2004] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Hrsg.: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Leipzig 2004
- [FNR, 2006] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms, Gülzow 2005
- [GEMIS, 2004] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.2, Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e. V.), [www.oeko.de/service/gemis/](http://www.oeko.de/service/gemis/), Freiburg 2004
- [GEMIS, 2007] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.3, Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e. V.), [www.oeko.de/service/gemis/](http://www.oeko.de/service/gemis/), Freiburg 2007
- [Gronauer, 2003] A. Gronauer et al.: Biogasanlagen-Monitoring und Emissionsverhalten von Biogas-Blockheizkraftwerken, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)/Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München 2003
- [Grundke, 2003] M. Grundke: Biogasnutzung mit Micro-Gasturbinen, Biogas Journal Nr. 1, Mai 2003
- [Herdin, 2002] G. Herdin: Standesanalyse des Gasmotors im Vergleich zu den Zukunftstechniken (Brennstoffzellen und Mikroturbine) bei der Nutzung von aus Biomasse gewonnenen Kraftstoffen, Jenbacher AG und  
G. Herdin: Stand der BHKW Technik im Vergleich zu Brennstoffzellen und Mikrogasturbinen, VDI-Berichte Nr. 1670 (Tagungsband Blockheizkraftwerke 2002), VDI Verlag GmbH Düsseldorf 2002
- [Herdin, 2005] G.R. Herdin: Stromerzeugung Biogas, Tagungsband Jenbacher Gasmotoren Forum Erneuerbare Energien, 27.–29.04.2005, Pertisau / Österreich
- [Herdin, 2005b] G.R. Herdin: GE Jenbacher, pers. Mitteilung, 2005

- [Huber, 2004] M. Huber, J. Hegewald: Lernzusammenfassung der BWL-Vorlesung *Finanzierung und Investition*, Humboldt-Universität Berlin, 2004, Version 1.2
- [IE, 2005] Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE) / Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): Evaluierung der Möglichkeiten zur Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz, Leipzig, 2005, [www.bio-energie.de](http://www.bio-energie.de)
- [IE, 2006] Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE) / Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR): Ökologische Analyse einer Biogasnutzung aus nachwachsenden Rohstoffen, Leipzig, 2006
- [IPCC, 1997] IPCC (1997): Revised 1996 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. OECD/OCDE, Paris
- [Jäkel, 1999] K. Jäkel, S. Mau: Umweltwirkung von Biogasgülle, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden 1999
- [Kaltschmitt, 2001] M. Kaltschmitt, H. Hartmann: Energie aus Biomasse, Springer 2001
- [Keymer, 2005] Ulrich Keymer: Wirtschaftlicher Vergleich von Nachwachsenden Rohstoffen, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (Institut für Agrarökonomie) März 2005
- [Krautkremer, 2005] B. Krautkremer, J. Müller: Mikrogasturbinen-eine Alternative für Biogas, VDI Fachtagung Biogas-Energieträger der Zukunft, 12–13.4.2005, VDI-Berichte 1872
- [Kröll, 1989] K. Kröll: Trocknen und Trockner in der Produktion, Springer Berlin 1989
- [KTBL, 2001] Clemens et al.: Emissionen der Tierhaltung, KTBL Symposium 2001, Kloster Banz
- [KTBL, 2002b] KTBL, Datensammlung Heil- und Gewürzpflanzen, 2002
- [KTBL, 2005] Faustzahlen für die Landwirtschaft, KTBL, 13. Auflage
- [Kubessa, 1998] M. Kubessa: Energiekennwerte-Handbuch für Beratung, Planung, Betrieb, Brandenburgischen Energiespar-Agentur, Potsdam 1998
- [LBS, 2006] Jörg Schindler und Werner Weindorf, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik in Technikfolgenabschätzung-Theorie und Praxis Nr. 1, 15. Jg., 2006
- [LfL, 2004a] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, Hrsg.): Biogas in Bayern, Tagungsband zur Jahrestagung 9.12.2004 in Rosenheim
- [LfL, 2004b] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Biogasausbeuten verschiedener Substrate, [www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/)
- [LfL, 2005] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Herr Kellermann, pers. Mitteilung, 2005
- [LfL, 2005b] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik (Institut für Agrarökonomie), Auskunft von Herrn Frank, 2005
- [LfL, 2005c] Perspektiven, Strukturentwicklung und Wettbewerbsfähigkeit der Ferkelerzeugung in Bayern, [www.lfl.bayern.de/ilb/tier/05645](http://www.lfl.bayern.de/ilb/tier/05645)
- [LfSD, 2005] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, [www.statistik.bayern.de](http://www.statistik.bayern.de), 2005
- [LfU, 2002] Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Veranst.): Biogasanlagen-Anforderungen zur Luftreinhaltung (Augsburg 17. Oktober 2002), Augsburg, 2002
- [LT-Bau, 1998] Landtechnik Bauwesen, BLV Verlagsgesellschaft München, 1998
- [Mühlstein, 2006] J. Mühlstein: Bio-Ferngas, Zeitschrift Energie & Management, 15. Juni 2006

- [Müller, 2005] J. Müller: Mikrogasturbine-Alternative zum herkömmlichen BHKW? Technik und zukünftige Chancen, BioEnTa 05 BioEnergieTagung, 20.09.2005, Eichhof
- [Neumann, 2004] W. Neumann: Novelle des Baugesetzbuches gibt neue Möglichkeiten für den Klimaschutz, [www.klimabuendnis.org/kommune/baugesetzbuch.htm](http://www.klimabuendnis.org/kommune/baugesetzbuch.htm)
- [Pecka, 2006] M. Pecka: Wärme und CO<sub>2</sub> für die Tomatenzucht, Zeitschrift Energie und Management, 01.05.2006, S. 21
- [Peretzki, 2005] Franz Peretzki: Gärrestanfall, Nährstoffgehalt und -kreislauf sowie rechtliche Grundlagen bei der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen, LfL, Institut für Agrarökologie, Februar 2005
- [Plöchl, 2002] M. Plöchl, M. Heiermann: Ökologische Bewertung der Bereitstellung landwirtschaftlicher Kosubstrate zur Biogaserzeugung, Bornimer Agrartechnische Berichte 32, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. (ATB), Potsdam 2002
- [Plöchl, 2003] M. Plöchl, M. Schulz: Ökologische Bewertung der Biogaserzeugung und -nutzung, in: Biogas in der Landwirtschaft-Leitfaden Biogas 2003, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam 2003
- [Plura, 2004] S. Plura, C. Kren, U. Paul, C. Schweigler: Absorptionskälteanlagen für effiziente Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Deutscher Kälte- und Klimatechnische Verein e. V., DKV-Tagungsbericht 2004, Arbeitsabteilung II.1, Band II.1, 17.–19. November 2004
- [Renet, 2004] Renet Austria, energy from biogas, Fortschrittsbericht, IFA Tulln, Oktober 2004
- [Reuß, 1997] M. Reuß, G. Rücker, H. Schulz: Solare Trocknung landwirtschaftlicher Produkte in Europa–Stand der Technik und Einschätzung des Potenzials, Landtechnik Forschungsbericht Heft 3, Landtechnik Weihenstephan, Freising 1997
- [Roschke, 2003] M. Roschke: Verwertung der Gärrückstände, in: Biogas in der Landwirtschaft – Leitfaden Biogas 2003, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam 2003
- [Ruderisch, 2005] M. Ruderisch: Fraunhofer-Institut UMSICHT, Oberhausen, pers. Mitteilung 2005
- [Salch, 2005] S. Salchenegger, W. Pölz: Biogas im Verkehrssektor-Technische Möglichkeiten, Potenzial und Klimarelevanz, Hrsg.: Österreichisches Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie / Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2005
- [stela, Laxh. 2007] stela, Laxhuber, Massing, pers. Mitteilung 2007
- [Ludwig-Bölkow Systemtechnik, 2006] J. Schindler, W. Weindorf: Einordnung und Vergleich biogener Kraftstoffe - „Well-to-Wheel“-Betrachtungen in Technikfolgenabschätzung-Theorie und Praxis Nr. 1, 15. Jg., [www.itas.fzk.de](http://www.itas.fzk.de), April 2006
- [Schmid, 2005] J. Schmid, B. Krautkremer, J. Müller: Biogas powered Micro-Gas-Turbine-First Results, Expo World Conference on Wind Energy, Renewable Energy, Fuel Cell and Exhibition, 7.–10.06.2005, Hamamatsu/Japan
- [Schmidt, 2006] K.-P. Schmidt: WSK Energie- und Umwelttechnik GmbH, ORC-Anlagen zur konsequenten (Ab)Wärmenutzung, 6. APROVIS-Kundentagung (Karlstadt / Eußenheim, 28. und 29.03.2006), APROVIS Energy Systems GmbH Weidenbach 2006
- [Schneider, 2005] Fa. Schneider: A. Schneider, pers. Mitteilung, 2005; [www.alfredschneider.de](http://www.alfredschneider.de)
- [Schneider, 2006] R. Schneider: Schmack Biogas AG, Schwandorf, Wirtschaftliche Wärmenutzung in verschiedenen Projekten, Tagungsband 15. Jahrestagung des Fachverband Biogas e. V. (25. bis 28. Januar 2006, Hannover), Fachverband Biogas e. V. Freising 2006

- [Schnell, 2005] H.-J. Schnell: Die Zukunft der Zündstrahltechnik mit den HJS Scania Typen ES 1805 und ES 2505, Fa. Hans-Jürgen Schnell Zündstrahltechnik, 88279 Amtzell, [www.schnellmotor.de](http://www.schnellmotor.de)
- [Schockert, 2005] Schockert: Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Rheinpfalz, Mitteilung, 2005
- [Schollmeyer, 2002] H.-J. Schollmeyer: Neues Abgasreinigungsverfahren für BHKW mit CO<sub>2</sub>-Düngung im Gartenbau, VDI-Berichte 1670 (Tagungsband Blockheizkraftwerke 2002), S. 169–195, VDI Verlag GmbH Düsseldorf 2002
- [Schramek, 1997] E.-R. Schramek: Taschenbuch für Heizung- und Klimatechnik, Oldenbourg, München/Wien 1997
- [Schulz, 2004] W. Schulz, M. Hille, W. Tentscher: Untersuchung zur Aufbereitung von Biogas zur Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten, Aktualisierte Fassung, Bremer Energie-Konsens GmbH, Bremen, August 2004
- [Schulz, 2007] W. Schulz et al.: Verwertung von Wärmeüberschüssen bei Biogasanlagen, Forschungsvorhaben gefördert vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Leitfaden und Materialienband zur Veröffentlichung vorgesehen 2007
- [StMUGV, 2004] Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV): Biogashandbuch Bayern, Broschüre und Materialienband, [www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/abfall/fachinformationen/biogashandbuch/index.htm), 2004
- [SWM, 2005] Stadtwerke München, [www.swm.de](http://www.swm.de)
- [TransHeat, 2005] TransHeat, [www.transheat.de](http://www.transheat.de)
- [VDH, 2005] Verband Deutscher Hopfenpflanzer e. V., [www.deutscher-hopfen.de](http://www.deutscher-hopfen.de), 2005
- [VDI, 1988] VDI-Richtlinie 2067, Blatt 7: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen -Blockheizkraftwerke, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 1988
- [VDI, 2000] VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen-Grundlagen und Kostenberechnung, Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2000
- [Wieser, 2005] S. Wieser, H. Fiedler: Dezentrale Gasnetze zum Transport von Biogas, Tagungsband 13. C.A.R.M.E.N.-Symposium *Im Kreislauf der Natur-Naturstoffe für die moderne Gesellschaft*, Straubing, 4.–5. Juli 2005, S. 125–134
- [WMinBW, 2004] Nahwärmefibel, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Oktober 2004
- [Wüst, 2006] C. Wüst: Bohrtürme zu Pflugscharen, *Der Spiegel* 16/2006, S. 124–131
- [Wulf, 2002] S. Wulf, R. Vandr , J. Clemens: Mitigation options for CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> emissions from slurry management, in: J. Van Ham et al. (Hrsg.): *Non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases: Scientific understanding, control options and policy aspects*, 2002, S. 487–492
- [WInst, 2005] Wuppertal Institut / IE Leipzig / FHG-Umsicht / Gaswarme-Institut: Endbericht Analyse und Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse, Wuppertal 2005
- [Zalba, 2003] Zalba et al.: *Appl. Therm. Eng.* 23 (3), 2003, S. 251–283
- [Ziegler, 2000] F. Ziegler, C. Schweigler, M. Högenauer, M. Rzepka: Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung: Integrationsmöglichkeiten durch angepasste Sorptionskalteanlagen. Fachtagung Integrierte Energiesysteme, VDI-GET, Bayern Innovativ, Nürnberg, 4.–5. April 2000











# Anhang zur Studie Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen



Anhang zur Studie über die  
Abwärmenutzung bei kleinen  
landwirtschaftlichen  
Biogasanlagen mit einer Leistung  
von 150 und 500 kW<sub>el</sub>

## Impressum

### Anhang zur Studie über die Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen

ISBN (Online-Version): 978-3-940009-33-3

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071 - 0

Fax: 0821 9071 - 5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Eine Behörde im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Bearbeitung/Text/Konzept:

M. Gaderer, M. Lautenbach, T. Fischer (alle ZAE Bayern), G. Ebertsch (LfU Ref. 21)

Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern)

Walther-Meißner-Straße 6, 85748 Garching

[www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)

unter Mitwirkung des LfU und der Bayerischen Bezirksregierungen

Druck: Eigendruck Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand: August 2007

Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



Das Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert.



## 13 ANHANG

### 13.1 Methodik der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgt auf Basis der Annuitätenmethode gemäß *VDI Richtlinie 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen* [VDI, 2000], [VDI, 1988]. Unter Berücksichtigung von Ersatzbeschaffungen und Kostensteigerung werden bei diesem Verfahren einmalige und laufende Zahlungen über einen vom Anwender vorgegebenen Betrachtungszeitraum zusammengefasst. Die Differenz der Summe der jährlichen Einnahmen und der jährlichen Kosten ergibt die Gewinnannuität. Die Gewinnannuität ist ein jährlicher Gewinn bzw. bei negativem Vorzeichen einem jährlichen Verlust. Für die Anlagen werden 7.500 BHKW-Motor-Vollbenutzungsstunden auf Basis der realen Leistung pro Jahr angenommen.

Die für die Wärmenutzungsvarianten dargestellten Gewinnannuitäten beinhalten nur die Kosten und Einnahmen (inklusive KWK-Bonus) der Wärmenutzungsvariante. Die Gewinnannuität der Biogasanlage, Biogaserzeugung und des Motors wird bei den Varianten nicht berücksichtigt. Ausgenommen von dieser Darstellung sind die *Varianten 5-Alternative Stromerzeugung und Effizienzsteigerung* bei der Betrachtung des *effizienteren BHKW* und *Variante 6-Biogasleitung*. Bei diesen beiden Varianten wird jeweils die gesamte Anlage inkl. Biogasanlage und BHKW berechnet.

#### 13.1.1 Methodik der Ermittlung von Kosten- und Erlösen

##### **Kosten**

Die mit der Investition und dem Betrieb verbundenen Kosten werden unterschieden nach:

- Kapitalkosten inkl. Instandsetzungskosten und Erneuerung

Die Kapitalkosten sind die Kosten zur Deckung der Investitionen über einen Betrachtungszeitraum  $T$  inklusive Kosten für das eingesetzte Kapital in Form von Fremdkapitalzinsen oder der gewünschten Eigenkapitalverzinsung (interner Zinsfuß)  $p$ . Der Betrachtungszeitraum wird für alle Varianten gleich angesetzt. Die Kosten für Anlagen und Bauwerke können über die Nutzungsdauer, die Kreditdauer oder eine finanztechnische Abschreibedauer  $T$  verteilt werden. Die Verteilung der Kosten erfolgt mittels des Annuitätsfaktors  $a$ , auch Kapitalwiedergewinnungsfaktor genannt. Folgende Formeln werden verwendet:

$$\text{Annuitätsfaktor } a = \frac{(1+p)^T \cdot z}{(1+p)^T - 1} \quad \text{Gleichung 13-1}$$

Mit dem Zinsfaktor  $q = 1+p$  folgt  $a = \frac{q-1}{1-q^{-T}}$  nach [VDI, 2000] Gleichung 13-2

Restwert der Anschaffung (inkl. Ersatzanschaffung)

$$\text{Restwert } R_w = A_0 \cdot r^{(n \cdot T_N)} \cdot \frac{(n+1) \cdot T_N - T}{T_N \cdot q^T} \quad \text{Gleichung 13-3}$$

1. Ersatzbeschaffung  $x = 1$ , 2. Ersatzbeschaffung  $x = 2$

$$\text{Barwert der Ersatzbeschaffung } A_x = A_0 \cdot \frac{r^{(x \cdot T_N)}}{q^{(x \cdot T_N)}} \quad \text{Gleichung 13-4}$$

Barwertfaktor zur Berechnung der Preissteigerung

$$\text{Barwertfaktor } b = \frac{1 - \left(\frac{r}{q}\right)^T}{q - r} \quad \text{Gleichung 13-5}$$

Annuität der kapitalgebundenen Auszahlung inkl. Instandsetzungskosten und Erneuerung

$$\text{Annuität } A_{N,K} = (A_0 + A_1 + A_2 - R_w) \cdot a + \frac{f_K}{100} \cdot A_0 \cdot b_{IN} \cdot a \quad \text{Gleichung 13-6}$$

- p ... Zinssatz, z. B. 5 % entspricht  $p = 0,05$
- T ... Betrachtungszeitraum in Jahren, gewählt  $T = 20$  Jahre
- q ... Zinsfaktor =  $1+p$
- $A_0$  ... Investition in €
- $A_x$  ... Barwert der Ersatzbeschaffung, 1. Ersatzbeschaffung  $x = 1$ , 2. Ersatzbeschaffung  $x = 2$
- r ... Preisänderungsfaktor, z. B. 3 % pro Jahr ...  $r = 1,03$
- n ... Anzahl der Ersatzbeschaffungen
- $T_N$  ... Nutzungsdauer der Anlagenkomponente
- $f_K$  ... Instandsetzungsfaktor in %, z. B. 2 % pro Jahr ...  $f_K = 2$  %
- $b_{IN}$  ... Barwertfaktor b für Investitionen mit  $r = r_{IN}$

Kosten für Grundstücke werden nicht berücksichtigt.

Bei den Konzepten der *Nahwärmeversorgung über ein Nahwärmenetz–Variante 2* werden die Hausübergabestationen (je Stück 5.000 €) als Anschlussgebühr berücksichtigt.

- Verbrauchs(gebundene)kosten: Substratkosten, Brennstoffe, Hilfsenergie, elektrische Energie für Antriebe, der Eigenstrombedarf wird zugekauft.
- Betriebs(gebundene)kosten: Wartungskosten und Personalkosten für die Anlagenbedienung.

Die Instandsetzungskosten werden mit der Annuität  $A_{N,K}$  der Annuität der kapitalgebundenen Auszahlung inklusive Instandsetzungskosten und Erneuerung, berücksichtigt. Die Lohnkosten für die Anlagenbedienung werden extra erfaßt.

- sonstige Kosten: Versicherungen, Vertragskosten

Verbrauchs- und betriebsgebundene und sonstige Kosten werden wie folgt berechnet:

Annuität der verbrauchs-, betriebsgebundenen und sonstigen Kosten

$$\text{Annuität } A_{N,VB_i} = A_{VB_i} \cdot b_{VB_i} \cdot a \quad \text{Gleichung 13-7}$$

$b_{VB_i}$  ... jeweiliger Barwertfaktor für die verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten mit  $r = r_{VB_i}$

$A_{VB_i}$  ... verbrauchs- und betriebsgebundene Kostenanteile

## **Einnahmen**

Auf der Einnahmenseite für die Ermittlung der Gewinnannuitäten werden folgende Einnahmenarten berücksichtigt:

- Erlöse für den eingespeisten Strom. Der erzeugte Strom wird vollständig nach dem EEG ins Stromnetz auf Basis einer Anlage, die im Jahr 2005 in Betrieb gegangen ist, eingespeist.
- KWK-Bonus aufgrund der Nutzung der Abwärme zur Gebäudebeheizung

Der Nachweis und die Abrechnung des KWK-Stroms muss nach KWKG § 8 entsprechend dem Arbeitsblatt FW 308 der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V. [AGFW, 2002] durchgeführt werden. Zur Durchsetzung von Vergütungsansprüchen können Sachverständigengutachten erstellt werden.

Der KWK-Bonus wird nach EEG § 8 Abs. 3 für KWK-Strom im Sinne des KWK-Gesetzes gezahlt. Folgende Definitionen aus KWK-Gesetz § 3 sind hierbei grundlegend:

- KWK-Strom ... Produkt aus Nutzwärme und Stromkennzahl der KWK-Anlage (Absatz 4)
- Nutzwärme ... genutzte Abwärme, die außerhalb der KWK-Anlage für die Raumheizung, die Warmwasserbereitung, die Kälteerzeugung oder als Prozesswärme verwendet wird (Absatz 6)
- Stromkennzahl ... Verhältnis der KWK-Nettostromerzeugung zur KWK-Nutzwärmeerzeugung in einem bestimmten Zeitraum (Absatz 7)
- Netto-Stromerzeugung ... an den Generatorklemmen gemessene Stromerzeugung einer Anlage abzüglich des für ihren Betrieb erforderlichen Eigenverbrauchs (Absatz 5)

Der Erlöse für den eingespeisten Strom und der KWK-Bonus sind statische unveränderbare Einnahmen für den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren.

- Gutschrift für das substituierte Heizöl durch die Beheizung des Betriebs- und Wohngebäudes
- Einnahmen durch Verkauf/Nutzung der Abwärme
- Düngerwert des ausgegorenen Substrates

Veränderbare Einnahmen werden wie folgt berechnet: Annuität der veränderbaren Einnahmen (Gutschrift substituiertes Heizöl, Abwärmeverkauf, Düngerwert)

$$\text{Annuität } A_{N,E_i} = A_{E_i} * b_{E_i} * a \quad \text{Gleichung 13-8}$$

$b_{E_i}$  ... jeweiliger Barwertfaktor für die Einnahmen mit  $r = r_{E_i}$

$A_{E_i}$  ... veränderbaren Einnahmen (Gutschrift substituiertes Heizöl, Abwärmeverkauf, Düngerwert)

## **Rentabilität**

Als Rentabilität wird für die Varianten folgende vereinfachte Größe definiert. Als Investition wird der Betrag aus Barwert-Restwert verwendet. Die Rentabilität ist ein Maßstab für den Ertrag, den das eingesetzte Kapital erbringt.

$$\text{Rentabilität} = \frac{\text{Gewinnannuität}}{\text{Investition (Barwert - Restwert)}} \quad \text{Gleichung 13-9}$$

## **Umsatzsteuer**

Die Umsatzsteuer ist in die Berechnungen nicht eingegangen. Alle Preisangaben sind Nettopreise.

### 13.1.2 Kostenwerte für die Investitionen und den Anlagenbetrieb

Verwendete Werte für die Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in Tabelle 13-1 und Tabelle 13-2 dargestellt.

Parameter	Wert		Grundlage
Betrachtungszeitraum	20 Jahre		
Nutzungsdauer und Wartung	Nutzungsdauer Bauteile $T_N$	Instandsetzung pro Jahr <sup>1)</sup>	[VDI, 2000] und eigene Annahmen*
Bau/Gebäude...	50 Jahre	2 %	<sup>1)</sup> Instandsetzung in % der Investition
Biogasanlage (Technik)	15 Jahre	6 %	
Motor-BHKW Gas-Otto	7 Jahre	2 %	
Motor-BHKW Zündstrahl	5 Jahre	2 %	
ORC-Motor	10 Jahre	2 %	
ORC sonstige Technik	20 Jahre	6 %	
Nahwärmeleitungen ...	40 Jahre	2 %	
Leitung zum Netz ...	40 Jahre	2 %	
Wärmespeicher ...	20 Jahre	2 %	
Hausübergabestation ...	20 Jahre	2,5 %	
Trocknerbehälter ...	12 Jahre	1 %	
Trockner-Leitungen ...	30 Jahre	0,5 %	
Gebläse ...	14 Jahre	3 %	
Getreide-Elevator ...	14 Jahre	3 %	
Schaltschrank ...	20 Jahre	2,5 %	
Wärmeübertrager ...	20 Jahre	2 %	
Pumpe ...	10 Jahre	2 %	
Baukostenzuschuss ...	20 Jahre	-	
Planung und Anbindung ...	20 Jahre	-	
Wärmepumpe	20 Jahre	4 %	
Zinssatz	5 %		Beispiel zinsvergünstigtes Darlehen der KfW-Förderbank
Lohnkosten	13,50 €/h		Maschinenring 12–15 €/h
Stromkosten	150 kW <sub>el</sub>	15,5 ct/kWh <sub>el</sub>	Statistisches Amt der Europäischen Kommission [Eurostat, 2005]
	500 kW <sub>el</sub>	12,0 ct/kWh <sub>el</sub>	
Versicherungskosten	0,5 % der Investitionen		[Lfl., 2004a]
Heizölpreis	55 ct/Liter		Durchschnittspreis Juni 2006
RME (Rapsmethylester, Biodiesel)	80 ct/Liter		
Jährliche Preissteigerung	Investition	1,0 %	Statistisches Bundesamt [destatis, 2005]
Beispiel: Preissteigerung 3 %	Betriebsmittel	1,0 %	
	Substratkosten	0,5 %	
Preisänderungsfaktor $r = 1,03$	Lohn	0,5 %	
	Energie, Strom	3,0 %	
Barwertfaktor $b = 15,965$	Versicherungen	0,5 %	
Substratkosten	€/t <sub>FM</sub>		[FNR, 2004], [Keymer, 2005] inkl. Produktions-, Beschaffungs-, Silo-, Lager-, Aufbereitungs-, Transport-, Ausbringungskosten; mit Lohnansatz ohne Festkostenanteile
Milchviehgülle	0 €/t <sub>FM</sub>		
Maissilage	28 €/t <sub>FM</sub>		
Grassilage	33 €/t <sub>FM</sub>		
Getreide-Ganzpflanzensilage	33 €/t <sub>FM</sub>		
Getreidekörner (Triticale)	97 €/t <sub>FM</sub>		

Tabelle 13-1: Kostenwerte für die Investitionen und den Anlagenbetrieb

Einnahmenwerte für die Wirtschaftlichkeitsberechnung:

Parameter	Wert		Grundlage
Stromvergütung Betriebsbeginn 2005, Betriebsbeginn ORC 2008	Mindestvergütung $\leq 150 \text{ kW}_{\text{el}}$ 0,1133 €/kWh <sub>el</sub> $\leq 500 \text{ kW}_{\text{el}}$ 0,0975 €/kWh <sub>el</sub> $\leq 5\text{--}20 \text{ MW}_{\text{el}}$ 0,0877 €/kWh <sub>el</sub> Jährliche Degressionsfaktor 0,985 NawaRo-Bonus ... 6 ct/kWh <sub>el</sub> KWK-Bonus ... 2 ct/kWh <sub>el</sub>		EEG
Düngerwerte des aus- gegorenen Substrates	€/t <sub>FM</sub>	€/kg Dünger	[FNR, 2004], [Peretzki, 2005]
Milchviehgülle	0,00 €/t <sub>FM</sub>	0,56 €/kg Stickstoff	
Maissilage	3,57 €/t <sub>FM</sub>	0,55 €/kg Phosphat	
Grassilage	5,42 €/t <sub>FM</sub>	0,28 €/kg Kalium	
Getreide-Ganzpflanzensilage	2,87 €/t <sub>FM</sub>		
Getreidekörner (Triticale)	10,33 €/t <sub>FM</sub>		
Heizölpreis für Gutschrift	55 ct/Liter		Durchschnittspreis Juni 2006

Tabelle 13-2: Einnahmenwerte für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit

Die angenommenen Wärmeerlöse orientieren sich an den folgenden Werten:

Wärmebereitstellung	Volllast- stunden	Brennstoffkosten [€/MWh]	Wärmepreis [€/MWh]
Nahwärme [WMinBW, 2004], [CARMEN, 2005]			50–100
Fernwärme [SWM, 2005], [CARMEN, 2005]			44–65
Ölheizung 15 kW Leistung	1.800 h	55	120
Hackschnitzelheizung 140 kW Leistung	6.000 h	18	30–60

Tabelle 13-3: Einnahmen für den Abwärmeverkauf

Die Wärmeerlöse sind in der Regel von der abgenommenen Wärmemenge und der Nutzungsart abhängig. Beispielsweise wird Grundlastwärme geringer vergütet als Spitzenlastwärme. Bei industriellen Abnehmern, welche die gesamte zur Verfügung stehende BHKW-Abwärme während des ganzen Jahres nutzen, sind beispielsweise Einnahmen von lediglich 10–30 €/MWh denkbar. Bei der Einkopplung der BHKW-Abwärme in ein bestehendes großes Nahwärmenetz als Teil einer Grundlastwärme werden ähnliche geringe Wärmeerlöse erzielt. Bei Versorgung von kleinen Nahwärmenetzen mit Grund- und Spitzenlastwärme sind Wärmepreise zwischen 40 und 100 €/MWh denkbar.

Bei Nahwärmesystemen sind Anschlussgebühren für Zuleitungen und Hausübergabestationen üblich. Je nach Höhe der Anschlussgebühren und nach Art der Berücksichtigung in der Berechnung ergeben sich unterschiedliche Wärmekosten.

## 13.2 Referenzanlagen

BIOGASERZEUGUNG REFERENZANLAGEN	Substrate				Einheit
	100,0%				
Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Substrateinsatz</b>					
Viehbestand	110	50	140	0	GV
Milchviehgülle	1.757	799	2.237	0	t <sub>FM</sub> /a
Maissilage	0	2.050	6.107	8.300	t <sub>FM</sub> /a
Grassilage	1.800	0	0	0	t <sub>FM</sub> /a
Getreide-Ganzpflanzensilage mittlerer Körneranteil	0	600	1.700	700	t <sub>FM</sub> /a
Getreidekörner (Tritikale) Methanausgleich für nicht Abdeckung	268	118	489	209	t <sub>FM</sub> /a
Summe in Fermenter	3.825	3.567	10.533	9.209	t <sub>FM</sub> /a
Vollbenutzungsstunden mit Leistung real	7.500	7.500	7.500	7.500	h/a
<b>Fermentation</b>					
Vollbenutzungsstunden Biogaserzeugung	7.668	7.668	7.668	7.668	h/a
Summe in Fermenter	3.825	3.567	10.533	9.209	t <sub>FM</sub> /a
Summe TM in Fermenter	1.102	1.087	3.311	3.201	t <sub>TM</sub> /a
Summe org. TM in Fermenter	997	1.031	3.147	3.065	t <sub>org TM</sub> /a
TM-Gehalt nach Mischung in Fermenter	28,8%	30,5%	31,4%	34,8%	
org. TM-Gehalt nach Mischung in Fermenter	26,1%	28,9%	29,9%	33,3%	
Biogasmassenproduktion	681	698	2.154	2.157	t/a
Summe aus Fermenter	3.144	2.868	8.379	7.053	t <sub>FM</sub> /a
Summe TM aus Fermenter	421	388	1.157	1.045	t <sub>TM</sub> /a
TM-Gehalt nach org. TM Abbau aus Fermenter	13,4%	13,5%	13,8%	14,8%	
Raubelastung	2,5	2,5	2,5	2,5	kg <sub>TM</sub> /(d*m <sup>3</sup> )
Gärbehältervolumen (netto)	1.248	1.291	3.939	3.837	m <sup>3</sup>
Gärbehältervolumen realisiert (+12%)	1.400	1.500	4.500	4.300	m <sup>3</sup>
Zugeführter Volumenstrom	17	15	45	44	m <sup>3</sup> /d
Zugeführter Massenstrom	12	11	33	29	t/d
Verw eizeit	73	85	87	88	d
Substratdichte vor Abbau	0,76	0,76	0,75	0,66	t/m <sup>3</sup>
Substratkosten	0,16	0,16	0,16	0,16	€/m <sup>3</sup> <sub>Biogas</sub>
<b>Gaserzeugung</b>					
Erw arteter Gasertrag	583.612	598.059	1.844.409	1.846.559	Nm <sup>3</sup> /a
Erw arteter Methangehalt in Gasertrag	55,0%	53,6%	53,6%	53,5%	
Verbleibende Gasproduktion Volllaststunden	7.668	7.668	7.668	7.668	h/a
Tatsächliche Gaserzeugung					100%
	583.612	598.059	1.844.409	1.846.559	Nm <sup>3</sup> /a
	1.827	1.872	5.773	5.780	Nm <sup>3</sup> /d
	76	78	241	241	Nm <sup>3</sup> /h
Tatsächliche Methanerzeugung	320.743	320.555	988.579	987.896	Nm <sup>3</sup> /a
Gasspeicher für 6 h	450	460	1.440	1.440	m <sup>3</sup>
Gasverlust durch Folie (Gaslagerung) (EPDM)					0,10%
Verlust	0,08	0,08	0,24	0,24	Nm <sup>3</sup> /h
	575	588	1.840	1.840	Nm <sup>3</sup> /a
Gasverlust durch Fackeleinsatz bei Wartung	7				d/a
	12.336	12.643	38.970	39.017	Nm <sup>3</sup> /a
	2,1%	2,1%	2,1%	2,1%	
Bruttoenergie im verbleibenden Biogas <sup>1</sup>	3.118	3.116	9.609	9.602	MWh/a

Tabelle 13-4: Parameter der Referenzanlagen 1 bis 4, Biogaserzeugung



## WIRKUNGSGRAD und LEISTUNGEN REFERENZANLAGEN

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	Einheit
<b>BHKW</b>					
Bauart	Gas-Otto	Gas-Otto	Gas-Otto	Gas-Otto	
Wirkungsgrad el. laut Hersteller (Nennwirkungsgrad)	36%	36%	39%	39,0%	100%
Wirkungsgrad el. real	33%	33%	36%	36%	
Wirkungsgrad th. laut Hersteller (Nennwirkungsgrad) (exkl. Abgasverluste)	48%	48%	45%	45%	
Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste)	45%	45%	42%	42%	
spezifischer Gasverbrauch beim Motor	79	81	250	250	Nm <sup>3</sup> /h
theoretische tägliche Motorlaufzeit	23	23	23	23	h
<b>Elektrische Leistung</b>					
Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung)	150	150	500	500	kW <sub>el</sub>
Leistung laut Herstellerwirkungsgrad	150	150	500	499	kW <sub>el</sub>
Leistung real laut Wirkungsgrad el. real	137	137	461	461	kW <sub>el</sub>
<b>Thermische Leistung</b>					
Leistung laut Herstellerwirkungsgrad	200	199	577	576	kW <sub>th</sub>
Leistung laut Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste)	187	187	538	538	kW <sub>th</sub>
Leistung ungenutzt (nach Abzug Abgasverluste, Gebäude- und Fermenterheizung)	151	151	445	451	kW <sub>th</sub>
Gesamtfeuerungsleistung (Nennleistung)	417	417	1.282	1.282	kW <sub>Brsst</sub>
<b>Nutzenergieerzeugung</b>					
Stromerzeugung real (7.500 Stunden * Leistung real)	1.029	1.028	3.459	3.457	MWh <sub>el</sub> /a
Wärmeerzeugung exkl. Abgasverluste	1.403	1.402	4.036	4.033	MWh <sub>th</sub> /a
Wärmeerzeugung exkl. Abgasverluste	1.403	1.402	4.036	4.033	MWh <sub>th</sub> /a
davon Wärmenutzung (Fermenter und Gebäudebeheizung)	267	267	698	651	MWh <sub>th</sub> /a
Wärmeerzeugung zusätzlich nutzbar nach Abzug Geb. und Fermenterb.	1.136	1.135	3.338	3.382	MWh <sub>th</sub> /a
Stromkennzahl (Strom/Wärme)	0,75	0,75	0,87	0,87	
Nutzungsgrad (genutzte Energie/Bruttoenergie im Biogas <sup>1</sup> )	41,6%	41,6%	43,3%	42,8%	
Eigenstromverbrauch 5%	51.441	51.411	172.963	172.844	kWh/a
<b>Vollbenutzungsstunden</b>					
Vollbenutzungsstunden mit Leistung real	7.500	7.500	7.500	7.500	
Vollbenutzungsstunden mit installierter Leistung	6.859	6.855	6.919	6.914	

Tabelle 13-5: Parameter der Referenzanlagen 1 bis 4, Wirkungsgrade und Leistungen

Annahmen für die Wärmebilanz					
Prozesstemperatur im Fermenter	39	°C			
durchschnittliche Substrattemperatur bei Zufuhr	12	°C			
Fermenterheizung Erwärmung des zugeführten Substrats und Transmissionswärmeverluste					
Monatsbilanzverfahren DIN V 4108-6, [DIN, 2003]					
Nachgärer ist gedämmt und ohne Beheizung					
Gebäudeinnenraumtemp	19	°C			
Umgebungstemp	DIN 4108	°C			
Beheizte Nutzfläche landwirtschaftliche Gebäude	150 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	m <sup>2</sup>
spez. Heizwärmebedarf landwirtschaftliche Gebäude	140				kWh/(m <sup>2</sup> a)
spez. Wärmewasserbedarf landwirtschaftliche Gebäude	12,5				kWh/(m <sup>2</sup> a)

Stoffdaten	
Heizwert Methan	9,94 kWh/(m <sub>N</sub> <sup>3</sup> )
Dichte Biogas	1,2 kg/m <sup>3</sup>
Dichte Methan	0,72 kg/m <sup>3</sup>
Wärmekapazität Wasser	1,16 kWh/(t K)
Wärmekapazität Pflanzenfaser	0,36 kWh/(t K)
Wärmekapazität Zellulose	0,54 kWh/(t K)
Wärmekapazität Gülle	1,08 kWh/(t K)
Wärmeleitfähigkeit Erde	2,00 W/(mK)
RME Dichte	881 g/l

Düngewert	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Düngewert
	kg/t <sub>FM</sub>	kg/t <sub>FM</sub>	kg/t <sub>FM</sub>	€/t <sub>FM</sub>
Milchviehgülle	1,9	1,5	5,1	0,00
Maissilage	3,2	1,3	3,8	3,57
Grassilage	4,7	1,6	6,8	5,42
Getreide-Ganzpflanzensilage mittl. Körneranteil	2,7	1,3	2,3	2,87
Getreide-Körner (Triticale)	10,7	5,7	4,3	10,33
	€/kg <sub>FM</sub>	€/kg <sub>FM</sub>	€/kg <sub>FM</sub>	
Düngerpreis	0,56	0,55	0,28	

Substrate	TM-Gehalt	org. TM-Gehalt der		Abbaurrate der org. TM	Gasertrag	Gasertrag	Gasertrag	Methan-gehalt	Substrat-dichte	spez. Volumen	Wärmekap. der TM	Erträge	Kosten	
		TM	TM											
					l <sub>N</sub> /kg <sub>oTM</sub>	Nm <sup>3</sup> /t <sub>FM</sub>	Nm <sup>3</sup> /t <sub>FM</sub>		t/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /t	kWh/(t K)	t/ha	t <sub>FM</sub> /ha	€/t <sub>FM</sub>
Milchviehgülle	9%	85%	30%		280	20	238	55,0%	1,0	1,0	0,26	0	0	0
Maissilage	33%	96%	80%		586	185	562	52,2%	0,7	1,5	0,36	45	15	28
Grassilage	40%	89%	78%		584	208	521	54,1%	0,5	1,9	0,36	26	10	33
Getreide-Ganzpflanzensilage mittlerer Körneranteil	40%	94%	70%		519	195	487	52,3%	0,8	1,2	0,36	33	13	33
Getreidekörner (Triticale)	87%	98%	92%		690	587	674	52,4%	0,7	1,4	0,36	9	8	97

Tabelle 13-6: Wärmebilanzdaten und Parameter eingesetzter Substrate und Produkte, teilweise nach [Lfl., 2004b]

## REFERENZANLAGEN KOSTEN

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Investition je kW <sub>el</sub>	3.700	3.900	3.100	3.100	€/kW <sub>el</sub>
	555.000	585.000	1.550.000	1.550.000	€
davon Bau	60%				
	333.000	351.000	930.000	930.000	€
davon Technik	40%				
	233.450	234.000	620.000	620.000	€
davon BHKW	880	880	616	616	€/kW <sub>el</sub>
	132.000	132.000	308.000	308.000	€
davon Motor	250				€/kW <sub>el</sub>
	37.500	37.500	125.000	125.000	€
Planung, Genehmigung, Netzanschluss (in den Investitionen enthalten)	0%				
	0	0	0	0	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>555.000</b>	<b>585.000</b>	<b>1.550.000</b>	<b>1.550.000</b>	€
Barwert					
Bau (50 Jahre)	333.000	351.000	930.000	930.000	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	195.950	196.500	495.000	495.000	€
Ersatz 1	109.428	109.735	276.431	276.431	€
Motor (2 Ersatzbeschaffungen nach je 7 Jahren)	37.500	37.500	125.000	125.000	€
Ersatz 1	28.573	28.573	95.243	95.243	€
Ersatz 2	21.771	21.771	72.570	72.570	€
Planung, Genehmigung, Netzanschluss	0	0	0	0	€
Restwert nach 20 Jahren					
Bau (50 Jahre)	75.303	79.373	210.304	210.304	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	57.160	57.320	144.394	144.394	€
Motor (2 Ersatzbeschaffungen nach je 7 Jahren)	2.321	2.321	7.736	7.736	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>591.439</b>	<b>606.065</b>	<b>1.631.810</b>	<b>1.631.810</b>	€
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>	<b>100%</b>				
Bau (50 Jahre)	27.895	29.402	77.904	77.904	€/a
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	32.657	32.748	82.496	82.496	€/a
Motor (2 Ersatzbeschaffungen nach je 7 Jahren)	7.675	7.675	25.584	25.584	€/a
Planung, Genehmigung, Netzanschluss	0	0	0	0	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>68.226</b>	<b>69.826</b>	<b>185.984</b>	<b>185.984</b>	€/a
Investitionsannuitätkostenanteil	37%	36%	34%	33%	
<b>Substratkosten</b>					
Siliverlust	6%				
Maissilage	0	57.354	170.859	232.216	€/a
Grassilage	59.699	0	0	0	€/a
Getreide-Ganzpflanzensilage mittl. Körneranteil	0	20.010	56.695	23.345	€/a
Getreide-Körner (Triticale)	26.014	11.448	47.516	20.332	€/a
<b>100%</b>	<b>90.855</b>	<b>94.141</b>	<b>291.574</b>	<b>292.446</b>	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>94.546</b>	<b>97.965</b>	<b>303.417</b>	<b>304.323</b>	€/a
Substratkostenanteil	51%	51%	55%	55%	
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromanteil Bedarf von Erzeugung	5%	5%	5%	5%	
Stromkosten	7.973	7.969	20.756	20.741	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>10.214</b>	<b>10.208</b>	<b>26.589</b>	<b>26.571</b>	€/a
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
Arbeitsstunden	671	778	1.755	2.163	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
<b>100%</b>	<b>9.045</b>	<b>10.530</b>	<b>23.760</b>	<b>29.160</b>	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>9.412</b>	<b>10.958</b>	<b>24.725</b>	<b>30.344</b>	€/a
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	2.775	2.925	7.750	7.750	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>2.888</b>	<b>3.044</b>	<b>8.065</b>	<b>8.065</b>	€/a

## REFERENZANLAGEN ERLÖSE

<b>Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung</b>					
Heizölpreis	0,55	0,55	0,55	0,55	€/l
Abw ärmeverbrauch	49	49	78	78	MWh/a
Gutschrift durch Heizölsparnis	3.143	3.143	5.028	5.028	€/a
Anteil an der nutzbaren Abw ärme	3,5%	3,5%	1,9%	1,9%	
<b>Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung</b>	<b>4.026</b>	<b>4.026</b>	<b>6.442</b>	<b>6.442</b>	€/a
<b>KWK Bonus</b>					
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>734</b>	<b>734</b>	<b>1.358</b>	<b>1.358</b>	€/a
<b>Erlös für Stromeinspeisung 2005</b>					
€/kWh <sub>el</sub>	1.029	1.028	3.459	3.457	MWh <sub>el</sub> /a
0,1133	116.540	116.472	127.434	127.434	€
0,0975	0	0	227.625	227.392	€
0,0877	0	0	0	0	€
0,0827	0	0	0	0	€
<b>Einnahmen Stromeinspeisung</b>	<b>116.540</b>	<b>116.472</b>	<b>355.060</b>	<b>354.827</b>	€/a
<b>Naw aro-Bonus</b>					
	0,06	0,06	0,06	0,06	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Naw aro-Bonus</b>	<b>61.730</b>	<b>61.693</b>	<b>207.555</b>	<b>207.412</b>	€/a
<b>Düngerwert</b>					
	10.287	8.251	25.251	25.894	€/a
<b>Düngerwert</b>	<b>10.705</b>	<b>8.587</b>	<b>26.277</b>	<b>26.946</b>	€/a
<b>Gew innannuität mit Preissteigerung</b>	<b>8.449</b>	<b>-488</b>	<b>47.912</b>	<b>41.698</b>	€/a
<b>Gew innannuität ohne Preissteigerung</b>	<b>16.098</b>	<b>7.477</b>	<b>71.332</b>	<b>65.342</b>	€/a
Stromgestehungskosten	0,18	0,19	0,16	0,16	€/kWh <sub>el</sub>

Tabelle 13-7: Kosten und Erlöse der Referenzanlagen 1 bis 4

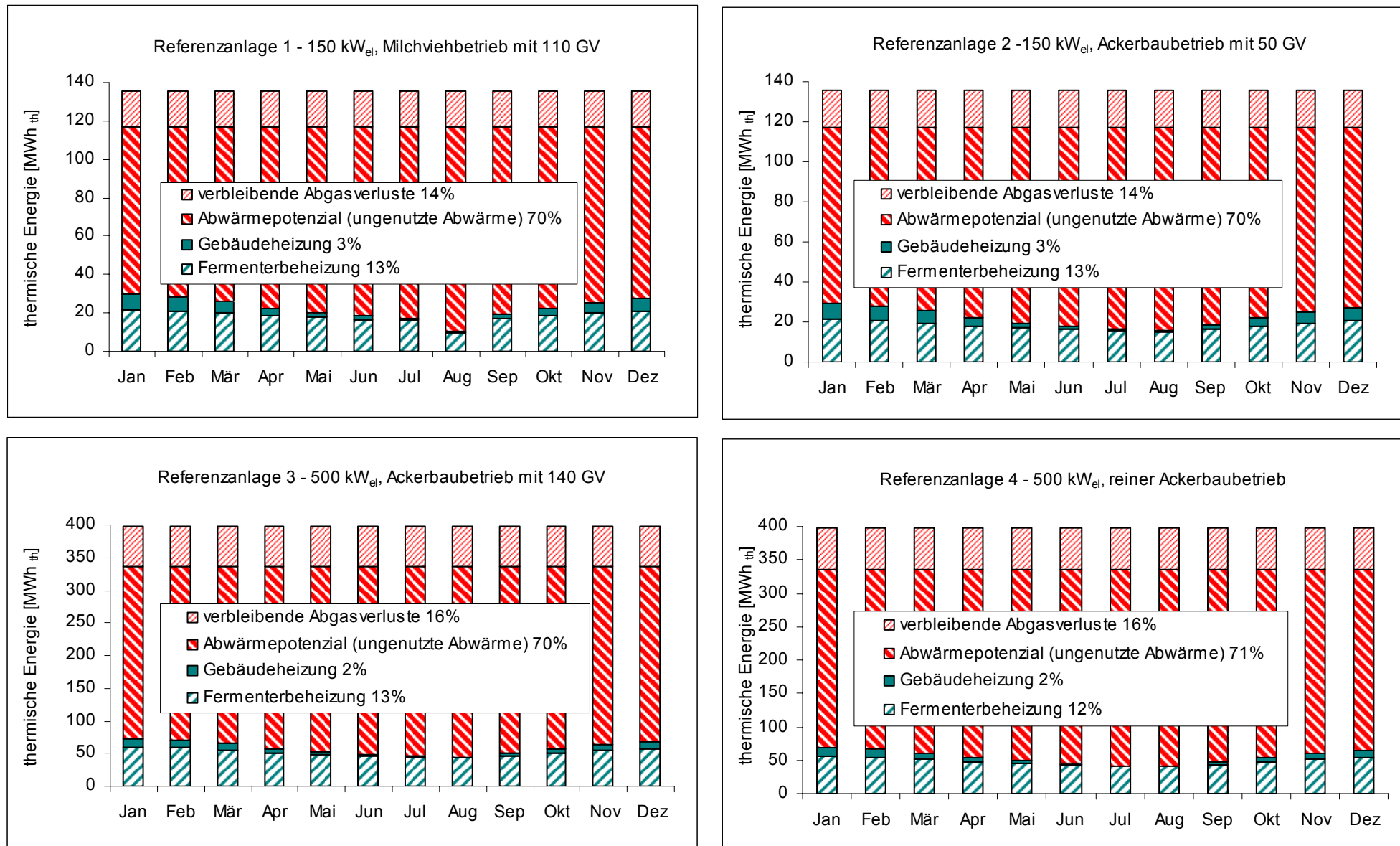


Abbildung 13-1: Wärmebilanzen der Referenzanlagen 1 bis 4, Werte sind Jahresdurchschnittswerte

### 13.3 Wärmenutzung in der Landwirtschaft und Kommune-Variante 1

Bei der Auslegung von Satztrocknern können folgende Belüftungsraten angesetzt werden:

- $3.500 \text{ m}^3_{\text{Luft}}/(\text{m}^3_{\text{Gut}} \cdot \text{h})$  für Getreide und Raps [Kröll, 1989]
- $11.000 \text{ m}^3_{\text{Luft}}/(\text{m}^3_{\text{Gut}} \cdot \text{h})$  für Mais [Kröll, 1989]
- $360 \text{ m}^3_{\text{Luft}}/(\text{m}^2_{\text{Fläche}} \cdot \text{h})$  für Holzhackschnitzel [Kaltschmitt, 2001]

Trockengut	Energiebedarf (kWh/kg Wasser)	Anfangs- wassergehalt w	Endwassergehalt w	Trocken-temperatur °C	zu entfernendes Wasser kg/t TM
Getreide	1,30	20%	14%	50	87
Mais	1,35	26%	12%	60	210
Heil- und Gewürzpflanzen	1,35	86%	9%	55	6.044
Hackschnitzel	1,70	50%	20%	65	750
Klärschlamm	1,20	75%	35%	65	2.462

Tabelle 13-8: Daten für Trockengüter

**13.3.1 Trocknungsprozesse für Holzhackschnitzel-Variante 1**

Referenzanlagen	Container od. Satzrockner		Schubwendetrockner		
	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Halle	4.000	4.000	26.400	26.400	€
2 Container je 22 m² / Schubwendetrockner	12.000	12.000	49.915	49.915	€
Gebläse	1.341	1.341	2.526	2.526	€
Schaltschrank	1.000	1.000	1.551	1.551	€
Wärmeübertrager	509	509	1.008	1.008	€
Wärmeleitungen 20 m, 200 €/m	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe	509	509	1.939	1.939	€
Rollplane	495	495	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	2.336	2.336	14.848	14.848	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>26.190</b>	<b>26.190</b>	<b>102.187</b>	<b>102.187</b>	<b>€</b>
Barwerte					
Halle (30 Jahre)	4.000	4.000	26.400	26.400	€
Trockner (20 Jahre)	12.000	12.000	49.915	49.915	€
	0	0	0	0	€
Gebläse (1 Ersatz nach 14 Jahre)	1.341	1.341	2.526	2.526	€
Ersatz 1	779	779	1.466	1.466	€
	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	1.000	1.000	1.551	1.551	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	509	509	1.008	1.008	€
Leitungen (30 Jahre)	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	509	509	1.939	1.939	€
Ersatz 1	345	345	1.315	1.315	€
Rollplane (20 Jahre)	495	495	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	2.336	2.336	14.848	14.848	€
Restwert nach 20 Jahren					
Halle (30 Jahre)	503	503	3.317	3.317	€
Trockner (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Gebläse (1 Ersatz nach 14 Jahre)	332	332	625	625	€
Elevator/Getreidekanone (1 Ersatz nach 14 Jahren)	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	503	503	503	503	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Rollplane	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>25.977</b>	<b>25.977</b>	<b>100.523</b>	<b>100.523</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Halle	367	367	2.424	2.424	€/a
2 Container je 22 m² / Schubwendetrockner	1.223	1.223	5.087	5.087	€/a
Gebläse	318	318	599	599	€/a
	0	0	0	0	€/a
Schaltschrank	107	107	166	166	€/a
Wärmeübertrager	52	52	103	103	€/a
Leitungen	302	302	302	302	€/a
Pumpe	52	52	198	198	€/a
Rollplane	50	50	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	187	187	1.191	1.191	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>2.659</b>	<b>2.659</b>	<b>10.070</b>	<b>10.070</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>	10	10	28	28	kW <sub>el</sub>
Stromverbrauch für den Betrieb	31.875	31.875	133.875	133.875	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	4.941	4.941	16.065	16.065	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>6.329</b>	<b>6.329</b>	<b>20.580</b>	<b>20.580</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
tägliche Arbeitszeit (h)	2 h		3 h	Dauer (Monate)	
Arbeitsstunden	391	391	879	879	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten für Anlagenbetreuung	5.273	5.273	11.865	11.865	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>5.488</b>	<b>5.488</b>	<b>12.347</b>	<b>12.347</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	131	131	511	511	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>136</b>	<b>136</b>	<b>532</b>	<b>532</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-9: Kosten Holzhackschnitzeltrocknung

HOLZHACKSCHNITZELTROCKNUNG ERLÖSE	Container od. Satzrockner		Schubwendetrockner	
<b>Wertsteigerung durch Trocknung von Gütern</b>				
	13.440	13.509	69.841	70.763 €/a
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>17.217</b>	<b>17.306</b>	<b>89.470</b>	<b>90.652 €/a</b>
<b>KWK Bonus</b>				
Abw ärmeverbrauch	565	568	2.503	2.536 MWh
	0,02	0,02	0,02	0,02 €/kWh <sub>el</sub>
Anteil am Abw ärme Potenzial	50%	50%	75%	75%
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>8.472</b>	<b>8.516</b>	<b>43.392</b>	<b>43.965 €/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>11.077</b>	<b>11.209</b>	<b>89.332</b>	<b>91.087 €/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>11.143</b>		<b>90.210 €/a</b>	
erforderlicher Wärmeerlös	8	8	0,04	-0,13 €/MWh

Tabelle 13-10: Erlöse Holzhackschnitzeltrocknung

Holzhackschnitzeltrocknung	Container od. Satzrockner		Schubwendetrockner	
Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau
Stromleistung (Anschlusswert)	10	10	28	28 kW <sub>el</sub>
Stromgleichzeitigkeit	85%			
Energiebedarf	1,70 kWh <sub>th</sub> /kg Wasser		1,45 kWh <sub>th</sub> /kg Wasser	
Wassergehalt zu	50%			
Wassergehalt ab	20%			
zu entfernendes Wasser	750 kg/t TM			
Wärmeausnutzung bzw. Zeitausnutzung	50%		75%	Referenz 80%
Januar	34	34	182	184 t TM/Monat
Februar	35	35	184	186 t TM/Monat
März	36	36	187	190 t TM/Monat
April	37	37	192	195 t TM/Monat
Mai	38	38	196	198 t TM/Monat
Juni	39	39	198	201 t TM/Monat
Juli	39	39	201	203 t TM/Monat
August	39	40	201	203 t TM/Monat
September	38	39	197	200 t TM/Monat
Oktober	37	37	192	195 t TM/Monat
November	36	36	188	190 t TM/Monat
Dezember	35	35	184	187 t TM/Monat
Summe TM	443	445	2.302	2.332 t TM/Jahr
Summe FM	886	891	4.604	4.665 t FM/Jahr zu
Betriebszeit Monat	313	313	469	469 h/Monat
Betriebszeit Jahr	3.750	3.750	5.625	5.625 h/Jahr
Durchsatzleistung TM maximal	118	119	409	415 kg TM/h
Durchsatzleistung FM maximal	236	237	818	829 kg FM/h zu
Schüttdichte Hackschnitzel	0,21 t FM/m <sup>3</sup> aus			
Schüttraummeter Srm FM	2.688	2.702	13.968	14.153 Srm/h
Wärmeverbrauch	565	568	2.503	2.536 MWh/a
<b>Strombedarf</b>				
	31.875	31.875	133.875	133.875 kWh <sub>el</sub>
<b>Anlagenbedienung</b>				
	2 h/Tag		3 h/Tag	
	391	391	879	879 h/Jahr
<b>Holzhackschnitzeltrocknung Wertsteigerung</b>				
Wertsteigerung Holzhackschnitzel	5,0 €/Srm			
Wertsteigerung Holzhackschnitzel	15 €/t FM zu			
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>13.440</b>	<b>13.509</b>	<b>69.841</b>	<b>70.763 €/a</b>

Tabelle 13-11: Details Holzhackschnitzeltrocknung

**13.3.2 Trocknungsprozesse für Getreide-Variante 1**

GETREIDETROCKNUNG KOSTEN	Dächerschachttrockner		Dächerschachttrockner		
	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Referenzanlagen					
<b>Investition</b>					
Halle	4.500	4.500	4.500	4.500	€
Dächerschachttrockner 5,4t / 8,2 t	15.150	15.150	28.608	28.608	€
Gebläse	1.341	1.341	3.333	3.333	€
Elevator/Getreidekanone	675	675	675	675	€
Schaltschrank	1.000	1.000	1.551	1.551	€
Wärmeübertrager	509	509	1.008	1.008	€
Wärmeleitungen 20 m, 200 €/m	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe	509	509	1.939	1.939	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	13.842	13.842	22.807	22.807	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>41.526</b>	<b>41.526</b>	<b>68.421</b>	<b>68.421</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Halle (30 Jahre)	4.500	4.500	4.500	4.500	€
Trockner (20 Jahre)	15.150	15.150	28.608	28.608	€
	0	0	0	0	€
Gebläse (1 Ersatz nach 14 Jahre)	1.341	1.341	3.333	3.333	€
Ersatz 1	779	779	1.935	1.935	€
Elevator/Getreidekanone (1 Ersatz nach 14 Jahren)	675	675	675	675	€
Ersatz 1	392	392	392	392	€
Schaltschrank (20 Jahre)	1.000	1.000	1.551	1.551	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	509	509	1.008	1.008	€
Leitungen (30 Jahre)	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	509	509	1.939	1.939	€
Ersatz 1	345	345	1.315	1.315	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	13.842	13.842	22.807	22.807	€
<b>Restwert nach 20 Jahren</b>					
Halle (30 Jahre)	565	565	565	565	€
Trockner (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Gebläse (1 Ersatz nach 14 Jahre)	332	332	825	825	€
Elevator/Getreidekanone (1 Ersatz nach 14 Jahren)	167	167	167	167	€
Schaltschrank (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	503	503	503	503	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>41.475</b>	<b>41.475</b>	<b>70.002</b>	<b>70.002</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Halle	413	413	413	413	€/a
Dächerschachttrockner / Schubwendetrockner	1.544	1.544	2.916	2.916	€/a
Gebläse	318	318	790	790	€/a
Elevator/Getreidekanone	94	94	94	94	€/a
Schaltschrank	107	107	166	166	€/a
Wärmeübertrager	52	52	103	103	€/a
Leitungen	302	302	302	302	€/a
Pumpe	52	52	198	198	€/a
Wärmespeicher	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	1.111	1.111	1.830	1.830	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>3.993</b>	<b>3.993</b>	<b>6.812</b>	<b>6.812</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>	8	8	23	23	kW <sub>el</sub>
Stromverbrauch für den Betrieb	4.250	4.250	12.219	12.219	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	659	659	1.466	1.466	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>844</b>	<b>844</b>	<b>1.878</b>	<b>1.878</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
tägliche Arbeitszeit (h)	6 h		6 h	Dauer (Monate)	2,0
Arbeitsstunden	260	260	260	260	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten für Anlagenbetreuung	3.516	3.516	3.516	3.516	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>3.658</b>	<b>3.658</b>	<b>3.658</b>	<b>3.658</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	208	208	342	342	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>356</b>	<b>356</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-12: Kosten Getreidetrocknung Dächerschachttrockner



GETREIDETROCKNUNG ERLÖSE		Dächerschachttrockner		Dächerschachttrockner	
<b>Wertsteigerung durch Trocknung von Gütern</b>					
	10.229	10.284	29.723	30.092	€/a
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>13.105</b>	<b>13.174</b>	<b>38.076</b>	<b>38.550</b>	€/a
<b>KWK Bonus</b>					
Abw ärmeverbrauch	125	125	291	295	MWh
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
Anteil am Abw ärmpotenzial	11%	11%	9%	9%	
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>1.870</b>	<b>1.879</b>	<b>5.046</b>	<b>5.109</b>	€/a
<b>Gewinnannuität</b>	<b>6.262</b>	<b>6.342</b>	<b>30.418</b>	<b>30.954</b>	€/a
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>6.302</b>		<b>30.686</b>		€/a
erforderlicher Wärmeerlös	43	43	21	20	€/MWh

Tabelle 13-13: Erlöse Getreidetrocknung Dächerschachttrockner

Getreidetrocknung	Dächerschachttrockner		Dächerschachttrockner	
	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau
Referenzanlagen				
Stromleistung (Anschlusswert)	8	8	23	23
Stromgleichzeitigkeit	85%			
Energiebedarf	1,40 kWh <sub>gr</sub> /kg Wasser			
Wassergehalt zu	20%			
Wassergehalt ab	14%			
zu entfernendes Wasser	87 kg/t TM			
Wärmeausnutzung bzw. Zeitausnutzung	50%			Referenz 60%
Januar	0	0	0	0
Februar	0	0	0	0
März	0	0	0	0
April	0	0	0	0
Mai	0	0	0	0
Juni	0	0	0	0
Juli	409	411	1.188	1.203
August	410	412	1.190	1.205
September	0	0	0	0
Oktober	0	0	0	0
November	0	0	0	0
Dezember	0	0	0	0
Summe TM	818	823	2.378	2.407
Summe FM	1.023	1.028	2.972	3.009
Betriebszeit Monat	313	313	313	313
Betriebszeit Jahr	625	625	625	625
Durchsatzleistung TM maximal	1.311	1.318	3.807	3.855
Durchsatzleistung FM maximal	1.638	1.647	4.759	4.818
Wärmeverbrauch	125	125	291	295
<b>Strombedarf</b>				
	4.250	4.250	12.219	12.219
<b>Anlagenbedienung</b>	6 h/Tag		6 h/Tag	
	260	260	260	260
<b>Getreidetrocknung Wertsteigerung</b>				
Wertsteigerung Getreide	13 €/t TM			
Wertsteigerung Getreide	10 €/t FM zu			
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	10.229	10.284	29.723	30.092

Tabelle 13-14: Details Getreidetrocknung Dächerschachttrockner

**GETREIDETROCKNUNG KOSTEN**

**Schubwendetrockner**

Referenzanlagen		Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>				
Halle		26.400	26.400	€
Schubwendetrockner		49.108	49.108	€
Gebläse		3.333	3.333	€
Elevator/Getreidekanone		675	675	€
Schaltschrank		1.551	1.551	€
Wärmeübertrager		1.008	1.008	€
Wärmeleitungen 20 m, 200 €/m		4.000	4.000	€
Pumpe		1.939	1.939	€
		0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung		14.962	14.962	€
<b>Gesamtinvestition</b>		<b>102.976</b>	<b>102.976</b>	<b>€</b>
	Barwerte			
Halle (30 Jahre)		26.400	26.400	€
Trockner (20 Jahre)		49.108	49.108	€
		0	0	€
Gebläse (1 Ersatz nach 14 Jahre)		3.333	3.333	€
Ersatz 1		1.935	1.935	€
Elevator/Getreidekanone (1 Ersatz nach 14 Jahren)		675	675	€
Ersatz 1		392	392	€
Schaltschrank (20 Jahre)		1.551	1.551	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)		1.008	1.008	€
Leitungen (30 Jahre)		4.000	4.000	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)		1.939	1.939	€
Ersatz 1		1.315	1.315	€
		0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung		14.962	14.962	€
	Restwert nach 20 Jahren			
Halle (30 Jahre)		3.317	3.317	€
Trockner (20 Jahre)		0	0	€
Gebläse (1 Ersatz nach 14 Jahre)		825	825	€
Elevator/Getreidekanone (1 Ersatz nach 14 Jahren)		167	167	€
Schaltschrank (20 Jahre)		0	0	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)		0	0	€
Leitungen (30 Jahre)		503	503	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)		0	0	€
		0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung		0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>		<b>101.807</b>	<b>101.807</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>				
Halle		2.424	2.424	€/a
Dächerschachtrockner / Schubwendetrockner		5.005	5.005	€/a
Gebläse		790	790	€/a
Elevator/Getreidekanone		94	94	€/a
Schaltschrank		166	166	€/a
Wärmeübertrager		103	103	€/a
Leitungen		302	302	€/a
Pumpe		198	198	€/a
Wärmespeicher		0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung		1.201	1.201	€/a
<b>Annuität Summe</b>		<b>10.283</b>	<b>10.283</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>				
Strompreis bei Zukauf		0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>		20	20	kW <sub>el</sub>
Stromverbrauch für den Betrieb		15.938	15.938	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten		1.913	1.913	€/a
<b>Annuität Summe</b>		<b>2.450</b>	<b>2.450</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>				
tägliche Arbeitszeit (h)		6,0	h Dauer (Monate)	2,5
Arbeitsstunden		293	293	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung		13,50	13,50	€/h
Kosten für Anlagenbetreuung		3.955	3.955	€/a
<b>Annuität Summe</b>		<b>4.116</b>	<b>4.116</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>				
		515	515	€/a
<b>Annuität Summe</b>		<b>536</b>	<b>536</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-15: Kosten Getreidetrocknung Schubwendetrockner

**GETREIDETROCKNUNG ERLÖSE**

**Schubwendetrockner**

<b>Wertsteigerung durch Trocknung von Gütern</b>			48.151	48.749	€/a
<b>Wertsteigerung Produkt</b>			<b>61.684</b>	<b>62.451</b>	€/a
<b>KWK Bonus</b>					
Abw ärmeverbrauch			437	442	MWh
			0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
Anteil am Abw ärmpotenzial			13%	13%	
<b>Einnahmen KWK</b>			<b>7.570</b>	<b>7.664</b>	€/a
<b>Gewinnannuität</b>					
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>			<b>51.869</b>	<b>52.730</b>	€/a
erforderlicher Wärmeerlös			18	17	€/MWh

Tabelle 13-16: Erlöse Getreidetrocknung Schubwendetrockner

**Getreidetrocknung**

**Schubwendetrockner**

	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Referenzanlagen					
Stromleistung (Anschlusswert)			20	20	kW <sub>el</sub>
Stromgleichzeitigkeit	85%				
Energiebedarf	1,40	kWh <sub>th</sub> /kg Wasser		1,30	kWh <sub>th</sub> /kg Wasser
Wassergehalt zu	20%				
Wassergehalt ab	14%				
zu entfernendes Wasser	87	kg/t TM			
Wärmeausnutzung bzw. Zeitausnutzung			75%	Referenz	80%
Januar			0	0	t TM/Monat
Februar			0	0	t TM/Monat
März			0	0	t TM/Monat
April			0	0	t TM/Monat
Mai			0	0	t TM/Monat
Juni			0	0	t TM/Monat
Juli			1.925	1.949	t TM/Monat
August			1.927	1.951	t TM/Monat
September			0	0	t TM/Monat
Oktober			0	0	t TM/Monat
November			0	0	t TM/Monat
Dezember			0	0	t TM/Monat
Summe TM			3.852	3.900	t TM/Jahr
Summe FM			4.815	4.875	t FM/Jahr zu
Betriebszeit Monat			469	469	h/Monat
Betriebszeit Jahr			938	938	h/Jahr
Durchsatzleistung TM maximal			4.112	4.163	kg TM/h
Durchsatzleistung FM maximal			5.140	5.204	kg FM/h zu
Wärmeverbrauch			437	442	MWh/a
<b>Strombedarf</b>					
			15.938	15.938	kWh <sub>el</sub>
<b>Anlagenbedienung</b>					
			6	293	h/Tag
			293	293	h/Jahr
<b>Getreidetrocknung Wertsteigerung</b>					
Wertsteigerung Getreide	13	€/t TM			
Wertsteigerung Getreide	10	€/t FM zu			
<b>Wertsteigerung Produkt</b>			48.151	48.749	€/a

Tabelle 13-17: Details Getreidetrocknung Schubwendetrockner

13.3 Wärmenutzung in der Landwirtschaft und Kommune-Variante 1

GETREIDETROCKNUNG KOSTEN	Wagentrocknung		Wagentrocknung		
	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Referenzanlagen					
<b>Investition</b>					
	0,00	0,00	0,00	0,00	€
Trocknervorrichtung 1 Hänger / 3 Hänger	4.716	4.716	14.651	14.651	€
Gebläse	1.341	1.341	3.584	3.584	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank	1.551	1.551	1.551	1.551	€
Wärmeübertrager	509	509	1.008	1.008	€
Wärmeleitungen 20 m, 200 €/m	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe	509	509	1.939	1.939	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	6.313	6.313	13.367	13.367	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>18.939</b>	<b>18.939</b>	<b>40.100</b>	<b>40.100</b>	<b>€</b>
Barwerte					
	0	0	0	0	€
Trocknungseinrichtung (1 Ersatz nach 15 Jahren)	4.716	4.716	14.651	14.651	€
Ersatz 1	2.169	2.169	6.738	6.738	€
Gebläse (1 Ersatz nach 14 Jahre)	1.341	1.341	3.584	3.584	€
Ersatz 1	779	779	2.081	2.081	€
	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	1.551	1.551	1.551	1.551	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	509	509	1.008	1.008	€
Leitungen (30 Jahre)	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	509	509	1.939	1.939	€
Ersatz 1	345	345	1.315	1.315	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	6.313	6.313	13.367	13.367	€
Restwert nach 20 Jahren					
	0	0	0	0	€
Trocknungseinrichtung (1 Ersatz nach 15 Jahren)	0	0	0	0	€
Gebläse (1 Ersatz nach 14 Jahre)	332	332	887	887	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank	0	0	0	0	€
Wärmeübertrager	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	503	503	503	503	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>21.397</b>	<b>21.397</b>	<b>48.843</b>	<b>48.843</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
	0	0	0	0	€/a
Trocknungseinrichtung	655	655	2.034	2.034	€/a
Gebläse	318	318	849	849	€/a
	0	0	0	0	€/a
Schaltschrank	166	166	166	166	€/a
Wärmeübertrager	52	52	103	103	€/a
Leitungen	302	302	302	302	€/a
Pumpe	52	52	198	198	€/a
Wärmespeicher	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	507	507	1.073	1.073	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>2.052</b>	<b>2.052</b>	<b>4.725</b>	<b>4.725</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>	7	7	20	20	kW <sub>el</sub>
Stromverbrauch für den Betrieb	3.719	3.719	10.625	10.625	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	576	576	1.275	1.275	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>738</b>	<b>738</b>	<b>1.633</b>	<b>1.633</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
tägliche Arbeitszeit (h)	5 h		7 h	Dauer (Monate)	2
Arbeitsstunden	326	326	456	456	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten für Anlagenbetreuung	4.395	4.395	6.152	6.152	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>4.573</b>	<b>4.573</b>	<b>6.402</b>	<b>6.402</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	95	95	200	200	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>209</b>	<b>209</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-18: Kosten Getreidetrocknung Wagentrockner

GETREIDETROCKNUNG ERLÖSE		Wagentrocknung		Wagentrocknung	
<b>Wertsteigerung durch Trocknung von Gütern</b>					
	10.229	10.284	29.723	30.092	€/a
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>13.105</b>	<b>13.174</b>	<b>38.076</b>	<b>38.550</b>	€/a
<b>KWK Bonus</b>					
Abw ärmeverbrauch	100	101	291	295	MWh
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
Anteil am Abw ärme Potenzial	9%	9%	9%	9%	
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>1.503</b>	<b>1.511</b>	<b>5.046</b>	<b>5.109</b>	€/a
<b>Gewinnannuität</b>					
	7.146	7.224	30.154	30.690	€/a
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>7.185</b>		<b>30.422</b>		€/a
erforderlicher Wärmeerlös	46	46	21	21	€/MWh

Tabelle 13-19: Erlöse Getreidetrocknung Wagentrockner

Getreidetrocknung	Wagentrocknung		Wagentrocknung		
	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Referenzanlagen					
Stromleistung (Anschlusswert)	7	7	20	20	kW <sub>el</sub>
Stromgleichzeitigkeit	85%				
Energiebedarf	1,40	kWh <sub>th</sub> /kg Wasser			
Wassergehalt zu	20%				
Wassergehalt ab	14%				
zu entfernendes Wasser	87	kg/t TM			
Wärmeausnutzung bzw. Zeitausnutzung	50%			Referenz	40%
Januar	0	0	0	0	t TM/Monat
Februar	0	0	0	0	t TM/Monat
März	0	0	0	0	t TM/Monat
April	0	0	0	0	t TM/Monat
Mai	0	0	0	0	t TM/Monat
Juni	0	0	0	0	t TM/Monat
Juli	409	411	1.188	1.203	t TM/Monat
August	410	412	1.190	1.205	t TM/Monat
September	0	0	0	0	t TM/Monat
Oktober	0	0	0	0	t TM/Monat
November	0	0	0	0	t TM/Monat
Dezember	0	0	0	0	t TM/Monat
Summe TM	818	823	2.378	2.407	t TM/Jahr
Summe FM	1.023	1.028	2.972	3.009	t FM/Jahr zu
Betriebszeit Monat	313	313	313	313	h/Monat
Betriebszeit Jahr	625	625	625	625	h/Jahr
Durchsatzleistung TM maximal	1.311	1.318	3.807	3.855	kg TM/h
Durchsatzleistung FM maximal	1.638	1.647	4.759	4.818	kg FM/h zu
Wärmeverbrauch	100	101	291	295	MWh/a
<b>Strombedarf</b>					
	3.719	3.719	10.625	10.625	kWh <sub>el</sub>
<b>Anlagenbedienung</b>	5		7		h/Tag
	326	326	456	456	h/Jahr
<b>Getreidetrocknung Wertsteigerung</b>					
Wertsteigerung Getreide	13	€/t TM			
Wertsteigerung Getreide	10	€/t FM zu			
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>10.229</b>	<b>10.284</b>	<b>29.723</b>	<b>30.092</b>	€/a

Tabelle 13-20: Details Getreidetrocknung Wagentrockner

## 13.3.3 Trocknungsprozesse für Heil- und Gewürzpflanzen-Variante 1

HEIL- und GEWÜRZPFLANZEN KOSTEN		BANDTROCKNER			
Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Halle	36.000	36.000	48.600	48.600	€
Bandrockner	280.000	280.000	500.000	500.000	€
Wärmeübertrager	10.000	10.000	10.000	10.000	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank	1.551	1.551	1.551	1.551	€
	0	0	0	0	€
Wärmeleitungen 20 m, 200 €/m	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe	509	509	1.939	1.939	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	24.905	24.905	42.457	42.457	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>356.965</b>	<b>356.965</b>	<b>608.547</b>	<b>608.547</b>	<b>€</b>
Barwerte					
Halle (30 Jahre)	36.000	36.000	48.600	48.600	€
Bandrockner (1 Ersatz nach 15 Jahren)	280.000	280.000	500.000	500.000	€
Ersatz 1	128.766	128.766	229.938	229.938	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	10.000	10.000	10.000	10.000	€
	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	1.551	1.551	1.551	1.551	€
	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	509	509	1.939	1.939	€
Ersatz 1	345	345	1.315	1.315	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	24.905	24.905	42.457	42.457	€
Restwert nach 20 Jahren					
Halle	4.523	4.523	6.106	6.106	€
Trocknerbehälter	81.677	81.677	145.852	145.852	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	2.476	2.476	2.476	2.476	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	503	503	503	503	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>396.897</b>	<b>396.897</b>	<b>684.864</b>	<b>684.864</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Halle	3.306	3.306	4.463	4.463	€/a
Bandrockner	32.314	32.314	57.704	57.704	€/a
Wärmeübertrager	1.904	1.904	1.904	1.904	€/a
	0	0	0	0	€/a
Schaltschrank	124	124	124	124	€/a
	0	0	0	0	€/a
Leitungen	302	302	302	302	€/a
Pumpe	80	80	303	303	€/a
	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	1.998	1.998	3.407	3.407	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>40.029</b>	<b>40.029</b>	<b>68.208</b>	<b>68.208</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>	18	18	30	30	kW <sub>el</sub>
Stromverbrauch für den Betrieb	28.350	28.350	47.250	47.250	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	4.394	4.394	5.670	5.670	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>5.629</b>	<b>5.629</b>	<b>7.264</b>	<b>7.264</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
tägliche Arbeitszeit (h)	14 h		18 h	Dauer (Monate)	4,7
Arbeitsstunden	1.436	1.436	1.846	1.846	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten für Anlagenbetreuung	19.380	19.380	24.917	24.917	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>20.167</b>	<b>20.167</b>	<b>25.929</b>	<b>25.929</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.785	1.785	3.043	3.043	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.857</b>	<b>1.857</b>	<b>3.166</b>	<b>3.166</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-21: Kosten Heil- und Gewürzpflanzentrocknung

HEIL- und GEWÜRZPFLANZEN ERLÖSE		BANDTROCKNER			
<b>Wertsteigerung durch Trocknung von Gütern</b>					
	42.480	42.704	124.077	125.650	€/a
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>54.420</b>	<b>54.706</b>	<b>158.950</b>	<b>160.965</b>	€/a
<b>KWK Bonus</b>					
Abw ärmeverbrauch	347	349	1.013	1.026	MWh
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
Anteil am Abw ärmpotenzial	31%	31%	30%	30%	
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>5.205</b>	<b>5.233</b>	<b>17.559</b>	<b>17.781</b>	€/a
<b>Gewinnannuität</b>	<b>-8.057</b>	<b>-7.743</b>	<b>71.943</b>	<b>74.179</b>	€/a
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>-7.900</b>		<b>73.061</b>		€/a
erforderlicher Wärmeerlös	141	140	67	66	€/MWh

Tabelle 13-22: Erlöse Heil- und Gewürzpflanzentrocknung

**Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandrockner**

	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Referenzanlagen					
Stromleistung (Anschlusswert)	18	18	30	30	kW <sub>el</sub>
Stromgleichzeitigkeit	80%				
Energiebedarf	1,35	kWh <sub>th</sub> /kg Wasser			
Wassergehalt zu	86%				
Wassergehalt ab	9%				
zu entfernendes Wasser	6.044	kg/t TM			
Wärmeausnutzung bzw. Zeitausnutzung	75%			Referenz	80%
Januar	0	0	0	0	t TM/Monat
Februar	0	0	0	0	t TM/Monat
März	0	0	0	0	t TM/Monat
April	0	0	0	0	t TM/Monat
Mai	0	0	0	0	t TM/Monat
Juni	9	9	26	27	t TM/Monat
Juli (50 % Leistung der anderen Monate)	5	5	13	14	t TM/Monat
August	9	9	27	27	t TM/Monat
September	9	9	26	27	t TM/Monat
Oktober (70 % Leistung der anderen Monate)	6	6	18	18	t TM/Monat
November	0	0	0	0	t TM/Monat
Dezember	0	0	0	0	t TM/Monat
Summe TM	38	38	111	112	t TM/Jahr
Summe FM	271	272	791	801	t FM/Jahr zu
Betriebszeit Monat	469	469	469	469	h/Monat
Betriebszeit Jahr	1.969	1.969	1.969	1.969	h/Jahr
Durchsatzleistung TM maximal	20	20	57	58	kg TM/h
Durchsatzleistung FM maximal	140	141	408	413	kg FM/h zu
Wärmeverbrauch	347	349	1.013	1.026	MWh/a
<b>Strombedarf</b>					
	28.350	28.350	47.250	47.250	kWh <sub>el</sub>
<b>Anlagenbedienung</b>	14	18	18	18	h/Tag
	1.436	1.436	1.846	1.846	h/Jahr
<b>Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Wertsteigerung</b>					
Wertsteigerung Pfefferminze	1.350	€/t TM			
Wertsteigerung Kamille	890	€/t TM			
Wertsteigerung Pfefferminze 50 % der FM	189	€/t FM zu		50 % der Frischmasse	
Wertsteigerung Kamille 50 % der FM	125	€/t FM zu		50 % der Frischmasse	
Pfefferminze Wertsteigerung	25.602	25.737	74.779	75.727	€/a
Kamille Wertsteigerung	16.878	16.967	49.299	49.923	€/a
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>42.480</b>	<b>42.704</b>	<b>124.077</b>	<b>125.650</b>	€/a

Tabelle 13-23: Details Heil- und Gewürzpflanzentrocknung

**13.3.4 Trocknungsprozesse für Klärschlamm-Variante 1**

Referenzanlagen	BANDTROCKNER				
	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Halle	27.000	27.000	36.000	36.000	€
Bandrockner	280.000	280.000	450.000	450.000	€
Wärmeübertrager	8.000	8.000	10.000	10.000	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank	1.480	1.480	1.551	1.551	€
	0	0	0	0	€
Wärmeleitungen 20 m, 200 €/m	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe	509	509	1.939	1.939	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	16.049	16.049	25.175	25.175	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>337.038</b>	<b>337.038</b>	<b>528.665</b>	<b>528.665</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Halle (30 Jahre)	27.000	27.000	36.000	36.000	€
Bandrockner (1 Ersatz nach 15 Jahren)	280.000	280.000	450.000	450.000	€
Ersatz 1	156.365	156.365	251.301	251.301	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	8.000	8.000	10.000	10.000	€
	0	0	1	2	€
	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	1.480	1.480	1.551	1.551	€
	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	509	509	1.939	1.939	€
Ersatz 1	345	345	1.315	1.315	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	16.049	16.049	25.175	25.175	€
<b>Restwert nach 20 Jahren</b>					
Halle (50 Jahre)	3.392	3.392	4.523	4.523	€
Bandrockner (1 Ersatz nach 15 Jahren)	81.677	81.677	131.267	131.267	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	503	503	503	503	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>408.177</b>	<b>408.177</b>	<b>644.989</b>	<b>644.990</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Halle	2.479	2.479	3.306	3.306	€/a
Bandrockner	31.495	31.495	50.617	50.617	€/a
Wärmeübertrager	1.682	1.682	2.103	2.103	€/a
	0	0	0	0	€/a
Schaltschrank	159	159	166	166	€/a
	0	0	0	0	€/a
Leitungen	302	302	302	302	€/a
Pumpe	80	80	303	303	€/a
	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	1.288	1.288	2.020	2.020	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>37.485</b>	<b>37.485</b>	<b>58.817</b>	<b>58.818</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>	20	20	40	40	kW <sub>el</sub>
Stromverbrauch für den Betrieb	90.000	90.000	180.000	180.000	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	13.950	13.950	21.600	21.600	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>17.871</b>	<b>17.871</b>	<b>27.671</b>	<b>27.671</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
tägliche Arbeitszeit (h)	4	h	4	h	Dauer (Monate)
Arbeitsstunden	1.172	1.172	1.172	1.172	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten für Anlagenbetreuung	15.820	15.820	15.820	15.820	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>16.463</b>	<b>16.463</b>	<b>16.463</b>	<b>16.463</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.685	1.685	2.643	2.643	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.754</b>	<b>1.754</b>	<b>2.751</b>	<b>2.751</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-24: Kosten Klärschlamm-trocknung mit dem Bandrockner



## KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG ERLÖSE

## BANDTROCKNER

Wertsteigerung durch Trocknung von Gütern					
	28.681	28.829	84.750	85.869	€/a
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>36.742</b>	<b>36.931</b>	<b>108.569</b>	<b>110.003</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
Abw ärmeverbrauch	847	852	2.503	2.536	MWh
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
Anteil am Abw ärme Potenzial	75%	75%	75%	75%	
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>12.708</b>	<b>12.773</b>	<b>43.392</b>	<b>43.965</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>-24.122</b>	<b>-23.868</b>	<b>46.259</b>	<b>48.266</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>-23.995</b>		<b>47.262</b>		<b>€/a</b>
erforderlicher Wärmeerlös	56	56	19	19	€/MWh

Tabelle 13-25: Erlöse Klärschlamm-trocknung mit dem Bandtrockner

## Klärschlamm-trocknung Bandtrockner

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Stromleistung (Anschlusswert)	20	20	40	40	kW <sub>el</sub>
Stromgleichzeitigkeit	80%				
Energiebedarf	1,20	kWh <sub>th</sub> /kg Wasser			
Wassergehalt zu	75%				
Wassergehalt ab	35%				
zu entfernendes Wasser	2.462	kg/t TM			
Wärmeausnutzung bzw. Zeitausnutzung	75%			Referenz	80%
Januar	22	22	67	68	t TM/Monat
Februar	23	23	68	69	t TM/Monat
März	23	23	69	70	t TM/Monat
April	24	24	71	72	t TM/Monat
Mai	25	25	72	73	t TM/Monat
Juni	25	25	73	74	t TM/Monat
Juli	25	26	74	75	t TM/Monat
August	25	26	74	75	t TM/Monat
September	25	25	73	74	t TM/Monat
Oktober	24	24	71	72	t TM/Monat
November	23	23	69	70	t TM/Monat
Dezember	23	23	68	69	t TM/Monat
Summe TM	287	288	847	859	t TM/Jahr
Summe FM	1.147	1.153	3.390	3.435	t FM/Jahr zu
Betriebszeit Monat	469	469	469	469	h/Monat
Betriebszeit Jahr	5.625	5.625	5.625	5.625	h/Jahr
Durchsatzleistung TM maximal	54	55	158	160	kg TM/h
Durchsatzleistung FM maximal	217	218	631	639	kg FM/h zu
Wärmeverbrauch	847	852	2.503	2.536	MWh/a
<b>Strombedarf</b>	90.000	90.000	180.000	180.000	kWh <sub>el</sub>
<b>Anlagenbedienung</b>	4 h/Tag		4 h/Tag		
	1.172	1.172	1.172	1.172	h/Jahr
<b>Klärschlamm-trocknung Wertsteigerung</b>					
Wertsteigerung Klärschlamm	25				€/t FM zu
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>28.681</b>	<b>28.829</b>	<b>84.750</b>	<b>85.869</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-26: Details zur Klärschlamm-trocknung mit Bandtrockner

**KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG WARMLUFT-HALLENTROCKNUNG mit WENDER KOSTEN**

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Halle	10.000	10.000	15.000	15.000	€
Trocknungseinrichtung	250.000	250.000	320.000	320.000	€
Wärmeübertrager	7.000	7.000	10.000	10.000	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank	1.551	1.551	1.551	1.551	€
	0	0	0	0	€
Wärmeleitungen 20 m, 200 €/m	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe	509	509	1.939	1.939	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	13.653	27.306	35.249	35.249	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>286.713</b>	<b>300.366</b>	<b>387.739</b>	<b>387.739</b>	<b>€</b>
Barwert					
Halle (30 Jahre)	10.000	10.000	15.000	15.000	€
Trocknungseinrichtung (1 Ersatz nach 15 Jahren)	250.000	250.000	320.000	320.000	€
Ersatz 1	139.611	139.611	178.703	178.703	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	7.000	7.000	10.000	10.000	€
	0	0	1	2	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	1.551	1.551	1.551	1.551	€
	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	509	509	1.939	1.939	€
Ersatz 1	345	345	1.315	1.315	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	13.653	27.306	35.249	35.249	€
Restwert nach 20 Jahren					
Halle (50 Jahre)	1.256	1.256	1.884	1.884	€
Bandrockner (1 Ersatz nach 15 Jahren)	72.926	72.926	93.345	93.345	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Schaltschrank (20 Jahre)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Leitungen (30 Jahre)	503	503	503	503	€
Pumpe (1 Ersatz nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>351.985</b>	<b>365.638</b>	<b>472.025</b>	<b>472.026</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Halle	918	918	1.377	1.377	€/a
Bandrockner	28.120	28.120	35.994	35.994	€/a
Wärmeübertrager	1.472	1.472	2.103	2.103	€/a
	0	0	0	0	€/a
Schaltschrank	166	166	166	166	€/a
	0	0	0	0	€/a
Leitungen	302	302	302	302	€/a
Pumpe	80	80	303	303	€/a
	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	1.096	2.191	2.828	2.828	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>32.155</b>	<b>33.250</b>	<b>43.075</b>	<b>43.075</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>	8	8	20	20	kW <sub>el</sub>
Stromverbrauch für den Betrieb	31.500	31.500	78.750	78.750	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	4.883	4.883	9.450	9.450	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>6.255</b>	<b>6.255</b>	<b>12.106</b>	<b>12.106</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
tägliche Arbeitszeit (h)	6 h		6 h	Dauer (Monate)	12
Arbeitsstunden	1.758	1.758	1.758	1.758	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten für Anlagenbetreuung	23.730	23.730	23.730	23.730	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>24.694</b>	<b>24.694</b>	<b>24.694</b>	<b>24.694</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.434	1.502	1.939	1.939	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.492</b>	<b>1.563</b>	<b>2.017</b>	<b>2.017</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-27: Kosten Klärschlamm-trocknung mit Warmluft-Hallentrocknung

## KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG WARMLUFT-HALLENTROCKNUNG mit WENDER ERLÖSE

Wertsteigerung durch Trocknung von Gütern					
	28.681	28.829	84.750	85.869	€/a
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>36.742</b>	<b>36.931</b>	<b>108.569</b>	<b>110.003</b>	<b>€/a</b>
KWK Bonus					
Abw ärmeverbrauch	847	852	2.503	2.536	MWh
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
Anteil am Abw ärme Potenzial	75%	75%	75%	75%	
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>12.708</b>	<b>12.773</b>	<b>43.392</b>	<b>43.965</b>	<b>€/a</b>
<b>Gew innannuität</b>	<b>-15.145</b>	<b>-16.058</b>	<b>70.068</b>	<b>72.075</b>	<b>€/a</b>
<b>Gew innannuität Mittelwert</b>	<b>-15.601</b>		<b>71.072</b>		<b>€/a</b>
erforderlicher Wärmeerlös	48	49	12	12	€/MWh

Tabelle 13-28: Erlöse Klärschlamm-trocknung mit der Warmluft-Hallentrocknung

## Klärschlamm-trocknung Warmluft-Hallentrockner mit Wender

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Stromleistung (Anschlusswert)	8	8	20	20	kW <sub>el</sub>
Stromgleichzeitigkeit	70%				
Energiebedarf	1,20	kWh <sub>tp</sub> /kg Wasser			
Wassergehalt zu	75%				
Wassergehalt ab	35%				
zu entfernendes Wasser	2.462	kg/t TM			
Wärmeausnutzung bzw. Zeitausnutzung	75%			Referenz	80%
Januar	22	22	67	68	t TM/Monat
Februar	23	23	68	69	t TM/Monat
März	23	23	69	70	t TM/Monat
April	24	24	71	72	t TM/Monat
Mai	25	25	72	73	t TM/Monat
Juni	25	25	73	74	t TM/Monat
Juli	25	26	74	75	t TM/Monat
August	25	26	74	75	t TM/Monat
September	25	25	73	74	t TM/Monat
Oktober	24	24	71	72	t TM/Monat
November	23	23	69	70	t TM/Monat
Dezember	23	23	68	69	t TM/Monat
Summe TM	287	288	847	859	t TM/Jahr
Summe FM	1.147	1.153	3.390	3.435	t FM/Jahr zu
Betriebszeit Monat	469	469	469	469	h/Monat
Betriebszeit Jahr	5.625	5.625	5.625	5.625	h/Jahr
Durchsatzleistung TM maximal	54	55	158	160	kg TM/h
Durchsatzleistung FM maximal	217	218	631	639	kg FM/h zu
Wärmeverbrauch	847	852	2.503	2.536	MWh/a
Strombedarf					
	31.500	31.500	78.750	78.750	kWh <sub>el</sub>
Anlagenbedienung					
	6	h/Tag	6	h/Tag	
	1.758	1.758	1.758	1.758	h/Jahr
Klärschlamm-trocknung Wertsteigerung					
Wertsteigerung Klärschlamm	25	€/t FM zu			
<b>Wertsteigerung Produkt</b>	<b>28.681</b>	<b>28.829</b>	<b>84.750</b>	<b>85.869</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-29: Details zur Klärschlamm-trocknung mit der Warmluft-Hallentrocknung

## 13.3.5 Beheizung einer Ferkelaufzucht-Variante 1

FERKELAUFGUCHT AUFZUCHTPLÄTZE MAXIMAL					Abw ärmeausnutzung	75%
Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau		
Wärmebedarf pro Ferkel	Ferkel	Ferkel	Ferkel	Ferkel		kWh
Januar	4.096	4.116	12.361	12.536		16,0
Februar	4.432	4.454	13.319	13.505		15,0
März	5.247	5.273	15.653	15.867		13,0
April	5.906	5.937	17.434	17.663		12,0
Mai	14.511	14.587	42.561	43.108		5,0
Juni	18.485	18.583	53.941	54.623		4,0
Juli	25.026	25.159	72.733	73.638		3,0
August	25.075	25.209	72.839	73.744		3,0
September	18.324	18.421	53.598	54.280		4,0
Oktober	5.437	5.465	16.060	16.272		13,0
November	4.567	4.590	13.608	13.793		15,0
Dezember	4.176	4.197	12.533	12.707		16,0
	<b>4.000</b>	<b>4.100</b>	<b>12.300</b>	<b>12.500</b>		119,0

FERKELAUFGUCHT AUFZUCHTPLÄTZE ANGENOMMEN					
ca. Ferkel pro Betrieb	1.000	1.000	2.000	2.000	
Wärmeabnahme					
Januar	16	16	32	32	MWh
Februar	15	15	30	30	MWh
März	13	13	26	26	MWh
April	12	12	24	24	MWh
Mai	5	5	10	10	MWh
Juni	4	4	8	8	MWh
Juli	3	3	6	6	MWh
August	3	3	6	6	MWh
September	4	4	8	8	MWh
Oktober	13	13	26	26	MWh
November	15	15	30	30	MWh
Dezember	16	16	32	32	MWh
Summe	119	119	238	238	MWh

Tabelle 13-30: Details zur Ferkelaufzucht

## FERKELAUFGUCHT KOSTEN

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Nahw ärmeleitungen 200 m, 200 €/m	40.000	40.000	40.000	40.000	€
Wärmespeicher	6.000	6.000	11.000	11.000	€
Wärmeübertrager	600	600	1.500	1.500	€
Übergabestation	3.500	3.500	5.000	5.000	€
Baukostenzuschuss	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	5.010	5.010	5.750	5.750	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>55.110</b>	<b>55.110</b>	<b>63.250</b>	<b>63.250</b>	<b>€</b>
Barwerte					
Nahw ärmeleitungen (40 Jahre)	40.000	40.000	40.000	40.000	€
Leitung zum Netz (40 Jahre)	6.000	6.000	11.000	11.000	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	600	600	1.500	1.500	€
Übergabestation (20 Jahre)	3.500	3.500	5.000	5.000	€
Baukostenzuschuss	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	5.010	5.010	5.750	5.750	€
Restwert nach 20 Jahre					
Nahw ärmeleitungen (40 Jahre)	7.538	7.538	7.538	7.538	€
Leitung zum Netz (40 Jahre)	1.131	1.131	2.073	2.073	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Übergabestation (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Baukostenzuschuss	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>46.442</b>	<b>46.442</b>	<b>53.639</b>	<b>53.639</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Nahw ärmeleitungen	3.472	3.472	3.472	3.472	€/a
Leitung zum Netz	521	521	955	955	€/a
Wärmespeicher	61	61	153	153	€/a
Übergabestation	376	376	537	537	€/a
Baukostenzuschuss	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	402	402	461	461	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>4.831</b>	<b>4.831</b>	<b>5.577</b>	<b>5.577</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>	2,0	2,0	2,5	2,5	kW <sub>el</sub>
Stromkosten (4 Stunden Pumpbetrieb am Tag)	264	264	255	255	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>338</b>	<b>338</b>	<b>327</b>	<b>327</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	276	276	316	316	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>287</b>	<b>287</b>	<b>329</b>	<b>329</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-31: Kosten Ferkelaufzucht

## FERKELAUFGUCHT ERLÖSE

<b>Wärmeverkauf</b>					
Wärmelieferung an die Ferkelaufzucht	119	119	238	238	MWh/a
Anteil am Abw ärmpotenzial	10,5%	10,5%	7,1%	7,0%	
Wärmeerlös	35				€/MWh
	3.957	3.957	7.914	7.914	€/a
<b>Einnahmen Wärme</b>	<b>5.069</b>	<b>5.069</b>	<b>10.138</b>	<b>10.138</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>1.785</b>	<b>1.785</b>	<b>4.125</b>	<b>4.125</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität mit Preissteigerung</b>	<b>1.398</b>	<b>1.398</b>	<b>8.029</b>	<b>8.029</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>1.398</b>		<b>8.029</b>		<b>€/a</b>

Tabelle 13-32: Erlöse der Ferkelaufzucht

### 13.3.6 Gewächshausbeheizung–Variante 1

Für die Berechnung zur Gewächshausbeheizung wurde von Gewächshäusern im Bestand ausgegangen, mit folgenden Annahmen zu den wärmetechnischen Parametern [Schockert, 2005]:

Verhältnis von Hüll- zu Grundfläche (Formfaktor)	1,6
Höhe des Gewächshauses	3 m
Wärmedurchgangskoeffizient	7,6 W/(m <sup>2</sup> *K)
Gesamtenergiedurchlassgrad	g = 0,8
Solare Wärmegewinne (U-Wert-Gutschrift, Verfahren nach Wärmeschutzverordnung 1995)	S = 1,65 W/(m <sup>2</sup> *K)
Temperaturanforderung von Gemüse	20 °C
Luftwechsel	1/h
Wärmeverteilverlust	10 %
spezifischer Heizwärmebedarf	1.075 kWh/(m <sup>2</sup> *a)

Tabelle 13-33: Wärmetechnische Parameter des Gewächshauses

Der Formfaktor kann bei Stahl-Glas-Gewächshäusern oder bei Aufstellung in Blockbauweise geringer ausfallen und ermöglicht die Beheizung einer größeren Fläche.

## GEWÄCHSHAUSBEHEIZUNG KOSTEN

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Nahwärmeleitungen 200 m, 200 €/m	40.000	40.000	40.000	40.000	€
Wärmespeicher	11.583	11.289	19.356	19.411	€
Wärmeübertrager	600	600	600	600	€
Übergabestation	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Baukostenzuschuss	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	5.618	5.589	6.396	6.401	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>61.801</b>	<b>61.478</b>	<b>70.352</b>	<b>70.412</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Nahwärmeleitungen (40 Jahre)	40.000	40.000	40.000	40.000	€
Leitung zum Netz (40 Jahre)	11.583	11.289	19.356	19.411	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	600	600	600	600	€
Übergabestation (20 Jahre)	4.000	4.000	4.000	4.000	€
Baukostenzuschuss	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	5.618	5.589	6.396	6.401	€
<b>Restwert nach 20 Jahre</b>					
Nahwärmeleitungen (40 Jahre)	7.538	7.538	7.538	7.538	€
Leitung zum Netz (40 Jahre)	2.183	2.127	3.648	3.658	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Übergabestation (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Baukostenzuschuss	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>52.080</b>	<b>51.813</b>	<b>59.166</b>	<b>59.216</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Nahwärmeleitungen	3.472	3.472	3.472	3.472	€/a
Leitung zum Netz	1.005	980	1.680	1.685	€/a
Wärmespeicher	61	61	61	61	€/a
Übergabestation	429	429	429	429	€/a
Baukostenzuschuss	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	451	448	513	514	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>5.418</b>	<b>5.390</b>	<b>6.155</b>	<b>6.160</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kW <sub>el</sub>	2,5	2,5	5,0	5,0	kW <sub>el</sub>
Stromkosten (5 Stunden Pumpbetrieb am Tag)	1.210	1.210	1.874	1.874	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.550</b>	<b>1.550</b>	<b>2.401</b>	<b>2.401</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	309	307	352	352	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>322</b>	<b>320</b>	<b>366</b>	<b>366</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-34: Kosten und Erlöse der Gewächshausbeheizung

## GEWÄCHSHAUSBEHEIZUNG ERLÖSE

<b>Wärmeverkauf</b>					
Wärmelieferung an das Gewächshaus	462	462	1.408	1.419	MWh/a
Anteil am Abwärmepotenzial	40,9%	40,7%	42,2%	42,0%	
Wärmeerlös	35				€/MWh
	15.370	15.370	46.824	47.182	€/a
<b>Einnahmen Wärme</b>	<b>19.690</b>	<b>19.690</b>	<b>59.984</b>	<b>60.442</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>6.934</b>	<b>6.934</b>	<b>24.410</b>	<b>24.596</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität mit Preissteigerung</b>	<b>19.333</b>	<b>19.362</b>	<b>75.472</b>	<b>76.111</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>19.348</b>		<b>75.791</b>		<b>€/a</b>

Tabelle 13-35: Erlöse der Gewächshausbeheizung

### 13.4 Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz–Variante 2

	Granit Bayerischer Wald	Sandstein Spessart	Lockergestein (wasser- gesättigt) Hallertau
Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in W/(m*K)	3,4	2,3	1,9
Wärmekapazität c in MJ/(m <sup>3</sup> *K)	2,4	2,0	2,7

Tabelle 13-36: Kenndaten der betrachteten Untergründe

Ergebnisse zur Speicherdimensionierung mit Earth-Energy-Designer (EED) bei unterschiedlichen Böden.

Untergrund	Anzahl der Häuser	benötigte Sondenmeter (m)	Beladung (MWh)	Entnahme (MWh)	Speichernutzungsgrad
Granit	48	4.041	419	280	67 %
Sandstein	48	5.675	419	280	67 %
Lockergestein	48	5.263	410	323	79 %

Tabelle 13-37: Speicherdimensionierung für Nahwärmenetz mit 150 kW<sub>el</sub> Biogasanlage

Untergrund	Anzahl der Häuser	benötigte Sondenmeter (m)	Beladung (MWh)	Entnahme (MWh)	Speichernutzungsgrad
Granit	135	11.671	1.148	828	72 %
Sandstein	135	17.676	1.148	828	72 %
Lockergestein	135	16.886	1.133	899	79 %

Tabelle 13-38: Speicherdimensionierung für Nahwärmenetz mit 500 kW<sub>el</sub> Biogasanlage

Sonden: Abstand von ca. 3 m, Rechteckfeld  
 Temperaturniveau: 5–30 °C, mit Wärmepumpe auf 45 °C, Mischungstemperatur von ca. 62 °C (mit direkt eingespeister Wärme)



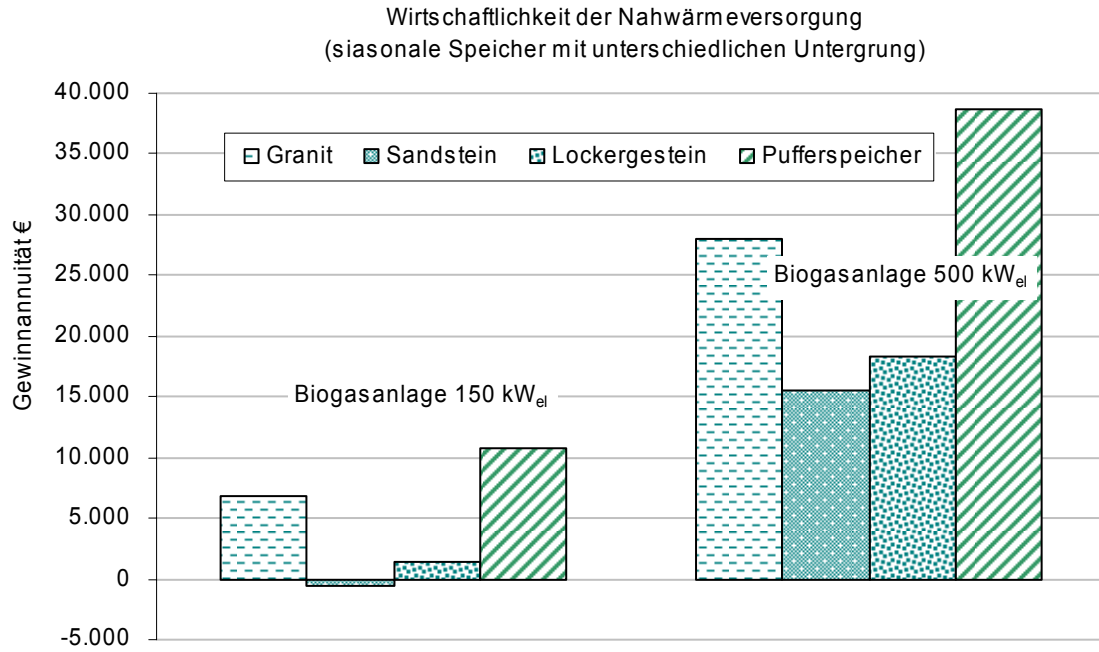


Abbildung 13-2: Gewinnannuität der Nahwärmeversorgungskonzepte mit und ohne saisonale Speicherung bei einem Wärmeerlös von 60 €/MWh. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

**NAHWÄRMEVERSORGUNG MIT PUFFERSPEICHER KOSTEN**

	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Nahwärmeleitungen 375 €/m, 300 m / 900 m	112.500	112.500	337.500	337.500	€
Pufferspeicher und Hydraulik	56.075	54.655	93.707	93.972	€
Hausübergabestation	100.000	100.000	285.000	285.000	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	26.857	26.716	71.621	71.647	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>295.432</b>	<b>293.871</b>	<b>787.828</b>	<b>788.120</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Nahwärmeleitungen (40 Jahre)	112.500	112.500	337.500	337.500	€
Pufferspeicher (20 Jahre)	56.075	54.655	93.707	93.972	€
Hausübergabestation (20 Jahre)	100.000	100.000	285.000	285.000	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	26.857	26.716	71.621	71.647	€
<b>Restwert nach 20 Jahren</b>					
Nahwärmeleitungen (40 Jahre)	21.200	21.200	63.600	63.600	€
Pufferspeicher (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Hausübergabestation (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>274.232</b>	<b>272.671</b>	<b>724.227</b>	<b>724.520</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Nahwärmeleitungen	9.764	9.764	29.292	29.292	€/a
Pufferspeicher	5.715	5.570	9.550	9.577	€/a
Hausübergabestation	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Anbindung	2.155	2.144	5.747	5.749	€/a
<b>100%</b>	<b>17.634</b>	<b>17.478</b>	<b>44.589</b>	<b>44.618</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf kWh <sub>el</sub> /MWh ab HÜS	4,0	4,0	4,0	4,0	kWh <sub>el</sub> /MWh
Stromkosten	1.376	1.376	3.921	3.921	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.762</b>	<b>1.762</b>	<b>5.023</b>	<b>5.023</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.477	1.469	3.939	3.941	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.537</b>	<b>1.529</b>	<b>4.099</b>	<b>4.101</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-39: Kosten der Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz mit Pufferspeicher

**NAHWÄRMEVERSORGUNG MIT PUFFERSPEICHER ERLÖSE**

<b>Nahwärmeverkauf 20 und 57 Häuser</b>					
Wärmeverkauf 20 und 57 Häuser ab HÜS	344	344	980	980	MWh/a
Wärmabnahmedichte	1,15	1,15	1,09	1,09	MWh/(m²a)
Anteil am Abwärmepotenzial	30,4%	30,3%	29,4%	29,0%	
Wärmeerlös	60 €/MWh				
	20.637	20.637	58.814	58.814	€/a
<b>Einnahmen Wärme</b>	<b>26.437</b>	<b>26.437</b>	<b>75.344</b>	<b>75.344</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>5.159</b>	<b>5.159</b>	<b>16.991</b>	<b>16.991</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität mit Preissteigerung</b>					
	10.662	10.826	38.624	38.593	€/a
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>10.744</b>		<b>38.608</b>		<b>€/a</b>
erforderlicher Wärmeerlös	35,80	35,43	29,24	29,27	€/MWh

Tabelle 13-40: Erlöse der Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz mit Pufferspeicher

## NAHWÄRMEVERSORGUNG MIT SAISONALEM SPEICHER KOSTEN

Hallertau, Lockergestein	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Sondenspeicher	242.075	242.075	582.568	582.568	€
Nahw ärmeleitungen 375 €/m/600 m / 1.800 m	225.000	225.000	675.000	675.000	€
Wärmepumpe	30.000	30.000	60.000	60.000	€
Hausübergabestation	240.000	240.000	675.000	675.000	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	73.708	73.708	199.257	199.257	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>810.783</b>	<b>810.783</b>	<b>2.191.825</b>	<b>2.191.825</b>	<b>€</b>
Barwerte					
Sondenspeicher (25 Jahre)	242.075	242.075	582.568	582.568	€
Nahw ärmeleitungen (40 Jahre)	225.000	225.000	675.000	675.000	€
Wärmepumpe (20 Jahre)	30.000	30.000	60.000	60.000	€
Hausübergabestation (20 Jahre)	240.000	240.000	675.000	675.000	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	73.708	73.708	199.257	199.257	€
Restwert nach 20 Jahren					
Sondenspeicher (25 Jahre)	18.247	18.247	43.913	43.913	€
Nahw ärmeleitungen (40 Jahre)	42.400	42.400	127.200	127.200	€
Wärmepumpe (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Hausübergabestation (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>750.135</b>	<b>750.135</b>	<b>2.020.712</b>	<b>2.020.712</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Sondenspeicher	20.583	20.583	49.535	49.535	€/a
Nahw ärmeleitungen	19.528	19.528	58.584	58.584	€/a
Wärmepumpe	3.708	3.708	7.415	7.415	€/a
Hausübergabestation	6.501	6.501	18.284	18.284	€/a
Planung, Genehmigung	5.914	5.914	15.989	15.989	€/a
100%	<b>56.235</b>	<b>56.235</b>	<b>149.808</b>	<b>149.808</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Wärmepumpentarif	0,097				€/kWh <sub>el</sub>
Strombedarf Wärmepumpe	81	81	225	225	MWh <sub>el</sub>
Strombedarf kWh <sub>el</sub> /MWh ab HÜS	4,0	4,0	4,0	4,0	kWh <sub>el</sub> /MWh
Stromkosten	11.125	11.125	31.121	31.121	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>14.252</b>	<b>14.252</b>	<b>39.868</b>	<b>39.868</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	4.054	4.054	10.959	10.959	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>4.219</b>	<b>4.219</b>	<b>11.404</b>	<b>11.404</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-41: Kosten der Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz mit saisonalem Erdsondenspeicher

## NAHWÄRMEVERSORGUNG MIT SAISONALEM SPEICHER ERLÖSE

NAHWÄRMEVERKAUF 48 und 135 Häuser					
Wärmeverkauf 48 und 135 Häuser ab HÜS	828	828	2.328	2.328	MWh/a
Wärmabnahmedichte	1,38	1,38	1,29	1,29	MWh/(m²a)
Anteil am Abw ärmpotenzial	73,3%	72,9%	69,8%	68,8%	
Mittelwert	73,1%		69,3%		
Wärmeerlös	60 €/MWh				
	49.672	49.672	139.703	139.703	€/a
<b>Einnahmen Wärme</b>	<b>63.633</b>	<b>63.633</b>	<b>178.968</b>	<b>178.968</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>12.418</b>	<b>12.418</b>	<b>40.359</b>	<b>40.359</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität mit Preissteigerung</b>	<b>1.346</b>	<b>1.346</b>	<b>18.246</b>	<b>18.246</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>1.346</b>		<b>18.246</b>		<b>€/a</b>
erforderlicher Wärmeerlös	58,73	58,73	53,88	53,88	€/MWh

Tabelle 13-42: Erlöse der Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz mit saisonalem Erdsondenspeicher

### 13.5 Wärmeversorgung mit mobilen Speichern–Variante 3

Kenndaten zu den Natriumacetat-Latentwärmespeichern sind in der Tabelle zusammengestellt.

Kenndaten	TransHeat Latentwärmespeicher	Schneider Latentwärmespeicher
Masse Speichermaterial	25 t (?)	22 t
Masse Container	28 t	26 t
Energieinhalt pro Container	2,7 MWh (?)	2,4 MWh
davon latente Wärme	1,8 MWh	1,6 MWh
maximale Ladeleistung (VL 90°C / RL 70°C)	500 kW (?)	250 kW
typische Entladeleistung (RL 38°C / VL 48°C)	250 kW (?)	125 kW
Verluste	(?)	ca. 10 kWh/24 h

Tabelle 13-43: Kenndaten der Natriumacetat-Latentwärmespeicher,  
? = unbestätigt bzw. nicht bekannte Werte, RL ... Rücklauf, VL ... Vorlauf.

Kenndaten zum Zeolithspeicher sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt und aufgeschlüsselt nach den möglichen Anwendungen *heizen*, *heizen & trocknen* und *klimatisieren*.

Kenndaten	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
Masse Speichermaterial	15 t	15 t
Energieinhalt pro Container ( <i>heizen</i> , 50 °C)	3,9 MWh	3,9 MWh
Energieinhalt pro Container ( <i>heizen &amp; trocknen</i> , 50 °C, Feuchte 0,1 %)	5,5 MWh	5,6 MWh
Energieinhalt pro Container ( <i>klimatisieren</i> , 17 °C)	2,1 MWh	2,2 MWh
Ladeleistung (Beladetemperatur 150 °C)	45 kW	138 kW
typische Entladeleistung ( <i>heizen</i> )	160 kW	160 kW
typische Entladeleistung ( <i>heizen &amp; trocknen</i> )	230 kW	230 kW
typische Entladeleistung ( <i>klimatisieren</i> )	140 kW	140 kW
Verluste (sensible Wärme)	ca. 10 kWh/24 h	ca. 10 kWh/24 h

Tabelle 13-44: Kenndaten für den Zeolithspeicher

## MOBILE SPEICHER Zeolith KOSTEN

	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner	
<b>Investition</b>					
Container+Zeolithmaterial	70.000	70.000	70.000	70.000	€
LKW	105.000	105.000	105.000	105.000	€
Wärmeübertrager	800	800	1.000	1.000	€
Pumpen	500	500	500	500	€
Technik	1.000	1.000	3.500	3.500	€
Leitungen	585	509	1.300	1.008	€
Regelung	3.000	3.000	3.000	3.000	€
Containerhandling	8.000	8.000	8.000	8.000	€
Planung, Genehmigung, Inbetriebnahme	37.777	37.762	38.460	38.402	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>226.662</b>	<b>226.571</b>	<b>230.760</b>	<b>230.410</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Container und Zeolithmaterial (1 Ersatz, 15 Jahre)	70.000	70.000	70.000	70.000	€
Ersatz 1	39.091	39.091	39.091	39.091	€
LKW (2 Ersatzbeschaffungen nach je 9 Jahren)	105.000	105.000	105.000	105.000	€
Ersatz 1	74.025	74.025	74.025	74.025	€
Ersatz 2	52.188	52.188	52.188	52.188	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	800	800	1.000	1.000	€
Pumpen (2 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	500	500	500	500	€
Ersatz 1	339	339	339	339	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 12 Jahren)	1.000	1.000	3.500	3.500	€
Ersatz 1	627	627	2.196	2.196	€
Leitungen (30 Jahre)	585	509	1.300	1.008	€
Regelung (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	3.000	3.000	3.000	3.000	€
Ersatz 1	1.675	1.675	1.675	1.675	€
Containerhandling (20 Jahre)	8.000	8.000	8.000	8.000	€
Planung, Genehmigung, Installation	37.777	37.762	38.460	38.402	€
Restwert nach 20 Jahren					
Container und Zeolithmaterial (1 Ersatz, 15 Jahre)	20.419	20.419	20.419	20.419	€
LKW (2 Ersatzbeschaffungen nach je 9 Jahren)	36.817	36.817	36.817	36.817	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Pumpen (2 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 12 Jahren)	142	142	495	495	€
Leitungen (30 Jahre)	73	64	163	127	€
Regelung (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	875	875	875	875	€
Containerhandling (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Installation	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>336.281</b>	<b>336.200</b>	<b>341.504</b>	<b>341.191</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Container und Zeolithmaterial	8.632	8.632	8.632	8.632	€/a
LKW	19.012	19.012	19.012	19.012	€/a
Wärmeübertrager	168	168	210	210	€/a
Pumpen	78	78	78	78	€/a
Technik	130	130	455	455	€/a
Leitungen	44	38	98	76	€/a
Regelung	386	386	386	386	€/a
Containerhandling	642	642	642	642	€/a
Planung, Genehmigung, Installation	3.031	3.030	3.086	3.081	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>32.124</b>	<b>32.117</b>	<b>32.600</b>	<b>32.574</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromleistung	5,0	5,0	8,0	8,0	kW <sub>el</sub>
Strombedarf	37.500	37.500	60.000	60.000	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	5.813	5.813	7.200	7.200	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>7.446</b>	<b>7.446</b>	<b>9.224</b>	<b>9.224</b>	<b>€/a</b>
<b>Transportkosten</b>					
Entfernung einfach		10	km	Kosten/km	0,58 €
Zyklen heizen	69	69	204	204	Zyklen
Zyklen heizen und trocknen	69	69	204	204	Zyklen
Zyklen klimatisieren	64	64	192	192	Zyklen
Kosten heizen	800	800	2.366	2.366	€/a
Kosten heizen und trocknen	800	800	2.366	2.366	€/a
Kosten klimatisieren	742	742	2.227	2.227	€/a
<b>Annuität heizen</b>	<b>1.025</b>	<b>1.025</b>	<b>3.031</b>	<b>3.031</b>	<b>€/a</b>
<b>Annuität heizen und trocknen</b>	<b>1.025</b>	<b>1.025</b>	<b>3.031</b>	<b>3.031</b>	<b>€/a</b>
<b>Annuität klimatisieren</b>	<b>951</b>	<b>951</b>	<b>2.853</b>	<b>2.853</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbedienung und Wartung</b>					
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten heizen	1.056	1.056	3.121	3.121	€/a
Kosten heizen und trocknen	1.056	1.056	3.121	3.121	€/a
Kosten klimatisieren	979	979	2.938	2.938	€/a
<b>Annuität heizen</b>	<b>1.099</b>	<b>1.099</b>	<b>3.248</b>	<b>3.248</b>	<b>€/a</b>
<b>Annuität heizen und trocknen</b>	<b>1.099</b>	<b>1.099</b>	<b>3.248</b>	<b>3.248</b>	<b>€/a</b>
<b>Annuität klimatisieren</b>	<b>1.019</b>	<b>1.019</b>	<b>3.057</b>	<b>3.057</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.133	1.133	1.154	1.152	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.179</b>	<b>1.179</b>	<b>1.201</b>	<b>1.199</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-45: Kosten der Wärmeversorgung mit mobilen Speichern, Zeolithspeicher

**MOBILE SPEICHER Zeolith ERLÖSE**

<b>Wärmeverkauf</b>					
Jahresenergiemenge heizen 6.000 Volllaststunden, Auslastung wie angegeben	265	265	805	805	MWh/a
Anteil am Abw ärmepotenzial	23,5%	23,4%	24,1%	23,8%	
Jahresenergiemenge 6.000 Volllaststunden, Auslastung wie angegeben, heizen und trocknen	378	378	1.148	1.148	MWh/a
Anteil am Abw ärmepotenzial	33,5%	33,3%	34,4%	33,9%	
Jahresenergiemenge 6.000 Volllaststunden, Auslastung wie angegeben, klimatisieren	135	135	417	417	MWh/a
Anteil am Abw ärmepotenzial	11,9%	11,9%	12,5%	12,3%	
Wärmeerlös €/MWh heizen	45	heizen und kühlen	45	klimatisieren	45
Einnahmen heizen	11.931	11.931	36.230	36.230	€/a
Einnahmen heizen und trocknen	17.028	17.028	51.658	51.658	€/a
Einnahmen klimatisieren	6.056	6.056	18.757	18.757	€/a
<b>Einnahmen heizen</b>	<b>15.285</b>	<b>15.285</b>	<b>46.412</b>	<b>46.412</b>	€/a
<b>Einnahmen heizen und trocknen</b>	<b>21.813</b>	<b>21.813</b>	<b>66.177</b>	<b>66.177</b>	€/a
<b>Einnahmen klimatisieren</b>	<b>7.757</b>	<b>7.757</b>	<b>24.029</b>	<b>24.029</b>	€/a
<b>KWK Bonus</b>					
Stromkennzahl (Strom/Wärme)	0,75	0,75	0,87	0,87	
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>3.977</b>	<b>3.977</b>	<b>13.955</b>	<b>13.955</b>	€/a
<b>Gewinnannuität mobiler Speicher Zeolith</b>					
<b>heizen</b>	<b>-23.612</b>	<b>-23.604</b>	<b>11.063</b>	<b>11.092</b>	€/a
<b>heizen und trocknen</b>	<b>-17.083</b>	<b>-17.076</b>	<b>30.828</b>	<b>30.857</b>	€/a
<b>klimatisieren</b>	<b>-30.985</b>	<b>-30.978</b>	<b>-10.951</b>	<b>-10.922</b>	€/a
erforderlicher Wärmeerlös heizen	115	114	34	34	€/MWh
erforderlicher Wärmeerlös heizen und trocknen	80	80	24	24	€/MWh
erforderlicher Wärmeerlös klimatisieren	225	225	66	65	€/MWh

Tabelle 13-46: Erlöse der Wärmeversorgung mit mobilen Speichern, Zeolithspeicher

## MOBILE SPEICHER Transheat NaAc KOSTEN

	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>INVESTITION</b>					
Container	146.000	146.000	146.000	146.000	€
LKW	105.000	105.000	105.000	105.000	€
Wärmeübertrager in Container enthalten					
Pumpen in Container enthalten					
Technik	32.000	32.000	32.000	32.000	€
Leitungen in Container enthalten					
Regelung in Container enthalten					
Containerhandling in Container enthalten					
Planung, Genehmigung, Inbetriebnahme	56.600	56.600	56.600	56.600	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>339.600</b>	<b>339.600</b>	<b>339.600</b>	<b>339.600</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Container und NaAc (1 Ersatz, 15 Jahre)	146.000	146.000	146.000	146.000	€
Ersatz 1	81.533	81.533	81.533	81.533	€
LKW (2 Ersatzbeschaffungen nach je 9 Jahren)	105.000	105.000	105.000	105.000	€
Ersatz 1	74.025	74.025	74.025	74.025	€
Ersatz 2	52.188	52.188	52.188	52.188	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Pumpen (2 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Ersatz 1	0	0	0	0	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 12 Jahren)	32.000	32.000	32.000	32.000	€
Ersatz 1	20.079	20.079	20.079	20.079	€
Leitungen (30 Jahre)	0	0	0	0	€
Regelung (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	0	0	0	0	€
Ersatz 1	0	0	0	0	€
Containerhandling (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Installation	56.600	56.600	56.600	56.600	€
<b>Restwert</b>					
Container und NaAc (1 Ersatz, 15 Jahre)	42.589	42.589	42.589	42.589	€
LKW (2 Ersatzbeschaffungen nach je 9 Jahren)	36.817	36.817	36.817	36.817	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Pumpen (2 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 12 Jahren)	4.530	4.530	4.530	4.530	€
Leitungen (30 Jahre)	0	0	0	0	€
Regelung (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	0	0	0	0	€
Containerhandling (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Installation	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>483.489</b>	<b>483.489</b>	<b>483.489</b>	<b>483.489</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Container	18.004	18.004	18.004	18.004	€/a
LKW	19.012	19.012	19.012	19.012	€/a
Wärmeübertrager	0	0	0	0	€/a
Pumpen	0	0	0	0	€/a
Technik	4.162	4.162	4.162	4.162	€/a
Leitungen	0	0	0	0	€/a
Regelung	0	0	0	0	€/a
Containerhandling	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Installation	4.542	4.542	4.542	4.542	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>45.720</b>	<b>45.720</b>	<b>45.720</b>	<b>45.720</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromanteil Prozess	2,5	2,5	5,0	5,0	kW <sub>el</sub>
	18.750	18.750	37.500	37.500	kWh <sub>el</sub>
Stromeinkauf für Prozess	2.906	2.906	4.500	4.500	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>3.723</b>	<b>3.723</b>	<b>5.765</b>	<b>5.765</b>	<b>€/a</b>
<b>Transportkosten</b>					
Zyklen heizen	248	248	676	676	Zyklen
Kosten heizen	2.877	2.877	7.842	7.842	€/a
					€/a
<b>Annuität heizen</b>	<b>3.685</b>	<b>3.685</b>	<b>10.046</b>	<b>10.046</b>	<b>€/a</b>
					€/a
<b>Arbeitszeit für Anlagenbedienung und Wartung</b>					
		h/Zyklus	1,1		
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten heizen	3.794	3.794	10.343	10.343	€/a
<b>Annuität heizen</b>	<b>3.949</b>	<b>3.949</b>	<b>10.763</b>	<b>10.763</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.698	1.698	1.698	1.698	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.767</b>	<b>1.767</b>	<b>1.767</b>	<b>1.767</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-47: Kosten der Wärmeversorgung mit mobilen Speichern, TransHeat NaAc

**MOBILE SPEICHER Transheat NaAc ERLÖSE**

<b>Wärmeverkauf</b>					
Jahresenergiemenge heizen 6.000 Volllaststunden, Auslastung wie angegeben	670	670	1.824	1.824	MWh/a
Anteil am Abwärmepotenzial	59,3%	59,0%	54,7%	53,9%	
Wärmeerlös €/MWh	45				
Einnahmen heizen	30.132	30.132	82.095	82.095	€/a
<b>Einnahmen Wärme</b>	<b>38.601</b>	<b>38.601</b>	<b>105.168</b>	<b>105.168</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
Stromkennzahl	0,75	0,75	0,87	0,87	
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>10.044</b>	<b>10.044</b>	<b>31.622</b>	<b>31.622</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität mobiler Speicher Transheat NaAc</b>					
<b>Gewinnannuität</b>	<b>-10.199</b>	<b>-10.199</b>	<b>62.730</b>	<b>62.730</b>	<b>€/a</b>
erforderlicher Wärmeerlös heizen	57	57	18	18	€/MWh

Tabelle 13-48: Erlöse der Wärmeversorgung mit mobilen Speichern, TransHeat NaAc



**MOBILE SPEICHER Schneider NaAc KOSTEN**

	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>INVESTITION</b>					
Container	120.000	120.000	120.000	120.000	€
LKW	105.000	105.000	105.000	105.000	€
Wärmeübertrager in Container enthalten					
Pumpen in Container enthalten					
Technik	5.000	5.000	5.000	5.000	€
Leitungen in Container enthalten					
Regelung in Container enthalten					
Containerhandling in Container enthalten					
Planung, Genehmigung, Inbetriebnahme	46.000	46.000	46.000	46.000	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>276.000</b>	<b>276.000</b>	<b>276.000</b>	<b>276.000</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Container und NaAc (1 Ersatz, 15 Jahre)	120.000	120.000	120.000	120.000	€
Ersatz 1	67.014	67.014	67.014	67.014	€
LKW (2 Ersatzbeschaffungen nach je 9 Jahren)	105.000	105.000	105.000	105.000	€
Ersatz 1	74.025	74.025	74.025	74.025	€
Ersatz 2	52.188	52.188	52.188	52.188	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Pumpen (2 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Ersatz 1	0	0	0	0	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 12 Jahren)	5.000	5.000	5.000	5.000	€
Ersatz 1	3.137	3.137	3.137	3.137	€
Leitungen (30 Jahre)	0	0	0	0	€
Regelung (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	0	0	0	0	€
Ersatz 1	0	0	0	0	€
Containerhandling (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Installation	46.000	46.000	46.000	46.000	€
<b>Restwert</b>					
Container und NaAc (1 Ersatz, 15 Jahre)	35.005	35.005	35.005	35.005	€
LKW (2 Ersatzbeschaffungen nach je 9 Jahren)	36.817	36.817	36.817	36.817	€
Wärmeübertrager (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Pumpen (2 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 12 Jahren)	708	708	708	708	€
Leitungen (30 Jahre)	0	0	0	0	€
Regelung (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	0	0	0	0	€
Containerhandling (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Planung, Genehmigung, Installation	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>399.834</b>	<b>399.834</b>	<b>399.834</b>	<b>399.834</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Container+Zeo	14.798	14.798	14.798	14.798	€/a
LKW	19.012	19.012	19.012	19.012	€/a
Wärmeübertrager	0	0	0	0	€/a
Pumpen	0	0	0	0	€/a
Technik	650	650	650	650	€/a
Leitungen	0	0	0	0	€/a
Regelung	0	0	0	0	€/a
Containerhandling	0	0	0	0	€/a
Planung, Genehmigung, Installation	3.691	3.691	3.691	3.691	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>38.151</b>	<b>38.151</b>	<b>38.151</b>	<b>38.151</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromanteil Prozess	2,5	2,5	5,0	5,0	kW <sub>el</sub>
	18.750	18.750	37.500	37.500	kWh <sub>el</sub>
Stromeinkauf für Prozess	2.906	2.906	4.500	4.500	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>3.723</b>	<b>3.723</b>	<b>5.765</b>	<b>5.765</b>	<b>€/a</b>
<b>Transportkosten</b>					
Zyklen heizen	279	279	625	625	Zyklen
Kosten heizen	3.236	3.236	7.250	7.250	€/a
<b>Annuität heizen</b>	<b>4.146</b>	<b>4.146</b>	<b>9.288</b>	<b>9.288</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbedienung und Wartung</b>					
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
Kosten heizen	4.269	4.269	9.563	9.563	€/a
<b>Annuität heizen</b>	<b>4.442</b>	<b>4.442</b>	<b>9.951</b>	<b>9.951</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.380	1.380	1.380	1.380	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.436</b>	<b>1.436</b>	<b>1.436</b>	<b>1.436</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-49: Kosten der Wärmeversorgung mit mobilen Speichern, Schneider NaAc

**MOBILE SPEICHER Schneider NaAc ERLÖSE**

<b>Wärmeverkauf</b>					
Jahresenergiemenge heizen 6.000 Volllaststunden, Auslastung wie angegeben	670	670	1.500	1.500	MWh/a
Anteil am Abwärmepotenzial	59,3%	59,0%	44,9%	44,4%	
Wärmeerlös €/MWh	45				
Einnahmen heizen	30.132	30.132	67.500	67.500	€/a
<b>Einnahmen Wärme</b>	<b>38.601</b>	<b>38.601</b>	<b>86.471</b>	<b>86.471</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
Stromkennzahl (Strom/Wärme)	0,75	0,75	0,87	0,87	
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>10.044</b>	<b>10.044</b>	<b>26.000</b>	<b>26.000</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität mobiler Speicher Schneider NaAc</b>					
<b>Gewinnannuität</b>	<b>-3.254</b>	<b>-3.254</b>	<b>47.880</b>	<b>47.880</b>	<b>€/a</b>
erforderlicher Wärmeerlös heizen	49	49	20	20	€/MWh

Tabelle 13-50: Erlöse der Wärmeversorgung mit mobilen Speichern, Schneider NaAc

## 13.6 Wärme- und Kälteversorgung-Variante 4

## 1 GEWERBEOBJEKT KOSTEN

1 BHKW & Single-Effekt AKM, Grundlast-Klimakälte und Heizwärme, ca. 2.000 / 5.000 m <sup>2</sup> Gew erbefläche	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Absorptionskältemaschine	14.200	14.200	29.200	29.200	€
Kompressionskältemaschine					
Kühlturm	5.300	5.300	9.500	9.500	€
Wärmespeicher	56.812	55.403	95.139	95.402	€
Wärmeleitungen 300 €/m, 500 m	150.000	150.000	150.000	150.000	€
Pumpe	509	509	1.008	1.008	€
Installation, Anbindung	21.890	21.890	24.860	24.860	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>248.711</b>	<b>247.302</b>	<b>309.707</b>	<b>309.970</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Absorptionskältemaschine (AKM) (15 Jahre)	14.200	14.200	29.200	29.200	€
Ersatz 1	7.930	7.930	16.307	16.307	€
Kompressionskältemaschine (KKM) (15 Jahre)					€
Ersatz 1					€
Kühlturm (20 Jahre)	5.300	5.300	9.500	9.500	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	56.812	55.403	95.139	95.402	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	150.000	150.000	150.000	150.000	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	509	509	1.008	1.008	€
Ersatz 1	345	345	684	684	€
Installation, Anbindung	21.890	21.890	24.860	24.860	€
<b>Restwert nach 20 Jahren</b>					
AKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	4.142	4.142	8.518	8.518	€
KKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)					€
Kühlturm (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	28.267	28.267	28.267	28.267	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Installation, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>224.577</b>	<b>223.168</b>	<b>289.912</b>	<b>290.176</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
AKM	1.905	1.905	3.917	3.917	€/a
KKM					
Kühlturm	712	712	1.277	1.277	€/a
Wärmespeicher	5.790	5.646	9.696	9.723	€/a
Wärmeleitung	11.393	11.393	11.393	11.393	€/a
Pumpe	80	80	158	158	€/a
Installation, Anbindung	1.757	1.757	1.995	1.995	€/a
<b>100%</b>	<b>21.637</b>	<b>21.493</b>	<b>28.436</b>	<b>28.463</b>	<b>€/a</b>
Vollbenutzungsstunden Kälte-/Klimaerzeugung	1.600	1.600	1.600	1.600	h
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromleistung	4,7	4,7	12,2	12,2	kW <sub>el</sub>
Strombedarf	7.440	7.440	19.456	19.456	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	1.153	1.153	2.335	2.335	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.477</b>	<b>1.477</b>	<b>2.991</b>	<b>2.991</b>	<b>€/a</b>
<b>Wasserkosten</b>					
Frischwasser und Abwasser	1.300	1.300	3.100	3.100	€
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.665</b>	<b>1.665</b>	<b>3.971</b>	<b>3.971</b>	<b>€</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.244	1.237	1.549	1.550	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.294</b>	<b>1.287</b>	<b>1.611</b>	<b>1.613</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-51: Kosten der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 1

## 1 GEWERBEOBJEKT ERLÖSE

<b>Wärme- und Leistungsangebot und Nutzung</b>					
nutzbare Abwärme	1.130	1.135	3.338	3.382	MWh/a
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Sommer	126	126	324	324	kW
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Winter	106	106	280	280	kW
genutzte Wärme für Kälteerzeugung	201.600	201.600	518.400	518.400	kWh
Vollbenutzungsstunden Heizen	3.200				h
genutzte Wärme für Heizen	339.200	339.200	896.000	896.000	kWh
produzierte Kälteleistung	95	95	243	243	kW
produzierte Kälte	152.000	152.000	388.800	388.800	kWh
Anteil am Abwärmepotenzial	47,9%	47,6%	42,4%	41,8%	
<b>Wärmeverkauf</b>					
Wärmeerlös	45 €/MWh				
<b>100%</b>	<b>15.264</b>	<b>15.264</b>	<b>40.320</b>	<b>40.320</b>	<b>€/a</b>
<b>Erlös für Heizen</b>	<b>19.554</b>	<b>19.554</b>	<b>51.652</b>	<b>51.652</b>	<b>€/a</b>
<b>Kälteerzeugung</b>					
Unterbietung konv. Kältepreis um	15%				
Kälteerlös	51,75 €/MWh		37,3 €/MWh		
<b>100%</b>	<b>7.866</b>	<b>7.866</b>	<b>13.068</b>	<b>13.068</b>	<b>€/a</b>
<b>Erlös für Kälte</b>	<b>10.077</b>	<b>10.077</b>	<b>16.740</b>	<b>16.740</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
Stromkennzahl (Strom/Wärme)	0,75	0,75	0,87	0,87	
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>8.112</b>	<b>8.112</b>	<b>24.516</b>	<b>24.516</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>11.670</b>	<b>11.821</b>	<b>55.899</b>	<b>55.871</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>11.745</b>		<b>55.885</b>		<b>€/a</b>
erforderlicher Kälteerlös (inkl. Wärmeverkauf)	-8,18	-8,95	-78,62	-78,56	€/MWh

Tabelle 13-52: Erlöse der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 1

**2 GEWERBEOBJEKT KOSTEN**

2 BHKW & Single-Effekt AKM, Vollversorgung Klimakälte und Heizwärme, ca. 1.000 / 2500 m <sup>2</sup> Gewerbefläche	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Absorptionskältemaschine	14.200	14.200	29.200	29.200	€
Kompressionskältemaschine					
Kühlturm	5.300	5.300	9.500	9.500	€
Wärmespeicher	56.812	55.403	95.139	95.402	€
Wärmeleitungen 300 €/m, 500 m	150.000	150.000	150.000	150.000	€
Pumpe	509	509	1.008	1.008	€
Installation, Anbindung	21.890	21.890	24.860	24.860	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>248.711</b>	<b>247.302</b>	<b>309.707</b>	<b>309.970</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Absorptionskältemaschine (AKM) (15 Jahre)	14.200	14.200	29.200	29.200	€
Ersatz 1	7.930	7.930	16.307	16.307	€
Kompressionskältemaschine (KKM) (15 Jahre)					€
Ersatz 1					€
Kühlturm (20 Jahre)	5.300	5.300	9.500	9.500	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	56.812	55.403	95.139	95.402	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	150.000	150.000	150.000	150.000	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	509	509	1.008	1.008	€
Ersatz 1	345	345	684	684	€
Installation, Anbindung	21.890	21.890	24.860	24.860	€
<b>Restwert nach 20 Jahren</b>					
AKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	4.142	4.142	8.518	8.518	€
KKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)					€
Kühlturm (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	28.267	28.267	28.267	28.267	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Installation, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>224.577</b>	<b>223.168</b>	<b>289.912</b>	<b>290.176</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
AKM	1.905	1.905	3.917	3.917	€/a
Kühlturm	712	712	1.277	1.277	€/a
Wärmespeicher	5.790	5.646	9.696	9.723	€/a
Wärmeleitung	11.393	11.393	11.393	11.393	€/a
Pumpe	80	80	158	158	€/a
Installation, Anbindung	1.757	1.757	1.995	1.995	€/a
	<b>21.637</b>	<b>21.493</b>	<b>28.436</b>	<b>28.463</b>	<b>€/a</b>
Vollbenutzungsstunden Kalte-/Klimaerzeugung	900	900	900	900	h
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromleistung	4,7	4,7	12,2	12,2	kW <sub>el</sub>
Strombedarf	4.185	4.185	10.944	10.944	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	649	649	1.313	1.313	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>831</b>	<b>831</b>	<b>1.682</b>	<b>1.682</b>	<b>€/a</b>
<b>Wasserkosten</b>					
Frischwasser und Abwasser	700	700	1.800	1.800	€
<b>Annuität Summe</b>	<b>897</b>	<b>897</b>	<b>2.306</b>	<b>2.306</b>	<b>€</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.244	1.237	1.549	1.550	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.294</b>	<b>1.287</b>	<b>1.611</b>	<b>1.613</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-53: Kosten der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 2

**2 GEWERBEOBJEKT ERLÖSE**

Wärme- und Leistungsangebot und Nutzung					
nutzbare Abwärme	1.130	1.135	3.338	3.382	MWh/a
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Sommer	126	126	324	324	kW
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Winter	106	106	280	280	kW
genutzte Wärme für Kälteerzeugung	113.400	113.400	291.600	291.600	kWh
Vollbenutzungsstunden Heizen	1.600				h
genutzte Wärme für Heizen	169.600	169.600	448.000	448.000	kWh
produzierte Kälteleistung	95	95	243	243	kW
produzierte Kälte	85.500	85.500	218.700	218.700	kWh
Anteil am Abwärmepotenzial	25,1%	24,9%	22,2%	21,9%	
<b>Wärmeverkauf</b>					
Wärmeerlös	45	€ / MWh			
100%	7.632	7.632	20.160	20.160	€/a
<b>Erlös für Heizen</b>	<b>9.777</b>	<b>9.777</b>	<b>25.826</b>	<b>25.826</b>	<b>€/a</b>
<b>Kälteerzeugung</b>					
Unterbietung konv. Kältepreis um	15%				
Kälteerlös	71,33	€/MWh	58,9	€/MWh	
100%	6.099	6.099	12.888	12.888	€/a
<b>Erlös für Kälte</b>	<b>7.813</b>	<b>7.813</b>	<b>16.511</b>	<b>16.511</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
Stromkennzahl (Strom/Wärme)	0,75	0,75	0,87	0,87	
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>4.245</b>	<b>4.245</b>	<b>12.820</b>	<b>12.820</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>-2.824</b>	<b>-2.673</b>	<b>21.121</b>	<b>21.093</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>-2.749</b>		<b>21.107</b>		<b>€/a</b>
erforderlicher Kälteerlös (inkl. Wärmeverkauf)	97,11	95,73	-16,45	-16,35	€/MWh

Tabelle 13-54: Erlöse der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 2

## 3 MOLKEREI KOSTEN

3 BHKW & Kaskade Single-Effekt AKM & KKM, Molke- und Vollkältedeckung -3°C und Prozesswärme	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Absorptionskältemaschine	14.200	14.200	29.200	29.200	€
Kompressionskältemaschine	8.495	8.495	21.845	21.845	€
Kühlturm	5.300	5.300	9.500	9.500	€
Wärmespeicher	56.812	55.403	95.139	95.402	€
Wärmeleitungen 300 €/m, 500 m	150.000	150.000	150.000	150.000	€
Pumpe	509	509	1.008	1.008	€
Installation, Anbindung	21.890	21.890	24.860	24.860	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>257.206</b>	<b>255.797</b>	<b>331.552</b>	<b>331.815</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Absorptionskältemaschine (AKM) (15 Jahre)	14.200	14.200	29.200	29.200	€
Ersatz 1	7.930	7.930	16.307	16.307	€
Kompressionskältemaschine (KKM) (15 Jahre)	8.495	8.495	21.845	21.845	€
Ersatz 1	4.744	4.744	12.199	12.199	€
Kühlturm (20 Jahre)	5.300	5.300	9.500	9.500	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	56.812	55.403	95.139	95.402	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	150.000	150.000	150.000	150.000	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	509	509	1.008	1.008	€
Ersatz 1	345	345	684	684	€
Installation, Anbindung	21.890	21.890	24.860	24.860	€
<b>Restwert nach 20 Jahren</b>					
AKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	4.142	4.142	8.518	8.518	€
KKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	2.478	2.478	6.372	6.372	€
Kühlturm (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	28.267	28.267	28.267	28.267	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Installation, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>235.338</b>	<b>233.929</b>	<b>317.584</b>	<b>317.848</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
AKM	1.905	1.905	3.917	3.917	€/a
KKM	1.232	1.232	3.167	3.167	€/a
Kühlturm	712	712	1.277	1.277	€/a
Wärmespeicher	5.790	5.646	9.696	9.723	€/a
Wärmeleitung	11.393	11.393	11.393	11.393	€/a
Pumpe	80	80	158	158	€/a
Installation, Anbindung	1.757	1.757	1.995	1.995	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>22.868</b>	<b>22.725</b>	<b>31.603</b>	<b>31.630</b>	<b>€/a</b>
Vollbenutzungsstunden Kälte-/Klimaerzeugung	1.920	1.920	1.920	1.920	h
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromleistung	16,2	16,2	41,1	41,1	kW <sub>el</sub>
Strombedarf	31.008	31.008	78.835	78.835	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	4.806	4.806	9.460	9.460	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>6.157</b>	<b>6.157</b>	<b>12.119</b>	<b>12.119</b>	
<b>Wasserkosten</b>					
Frischwasser und Abwasser	1.400	1.400	3.700	3.700	€
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.793</b>	<b>1.793</b>	<b>4.740</b>	<b>4.740</b>	
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.286	1.279	1.658	1.659	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.338</b>	<b>1.331</b>	<b>1.725</b>	<b>1.726</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-55: Kosten der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 3

## 3 MOLKEREI ERLÖSE

Wärme- und Leistungsangebot und Nutzung					
nutzbare Abwärme	1.130	1.135	3.338	3.382	MWh/a
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Sommer	126	126	324	324	kW
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Winter	106	106	280	280	kW
genutzte Wärme für Kälteerzeugung	241.920	241.920	622.080	622.080	kWh
Vollbenutzungsstunden Heizen	4.000				h
genutzte Wärme für Heizen	424.000	424.000	1.120.000	1.120.000	kWh
produzierte Kälteleistung	85	85	218	218	kW
produzierte Kälte	163.200	163.200	418.560	418.560	kWh
Anteil am Abwärmepotenzial	59,0%	58,7%	52,2%	51,5%	
<b>Wärmeverkauf</b>					
Wärmeerlös	45	€/MWh			
100%	19.080	19.080	50.400	50.400	€/a
<b>Erlös für Heizen</b>	<b>24.443</b>	<b>24.443</b>	<b>64.565</b>	<b>64.565</b>	<b>€/a</b>
<b>Kälteerzeugung</b>					
Unterbietung konv. Kältepreis um	15%				
Kälteerlös	52,88	€/MWh	45,6	€/MWh	
100%	8.630	8.630	19.087	19.087	€/a
<b>Erlös für Kälte</b>	<b>11.056</b>	<b>11.056</b>	<b>24.451</b>	<b>24.451</b>	
<b>KWK Bonus</b>					
Stromkennzahl (Strom/Wärme)	0,75	0,75	0,87	0,87	
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>9.989</b>	<b>9.989</b>	<b>30.196</b>	<b>30.196</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>13.330</b>	<b>13.481</b>	<b>69.025</b>	<b>68.997</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>13.405</b>		<b>69.011</b>		<b>€/a</b>
erforderlicher Kälteerlös (inkl. Wärmeverkauf)	-10,88	-11,60	-83,13	-83,08	€/MWh

Tabelle 13-56: Erlöse der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 3

**4 LAGERHAUS KOSTEN**

4 BHKW & Kaskade Single-Effekt AKM & KKM, Lagerhaus, Vollkältedeckung -15 °C und Heizwärme	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Absorptionskältemaschine	11.900	11.900	29.200	29.200	€
Kompressionskältemaschine	7.926	7.926	20.381	20.381	€
Kühlturm	5.300	5.300	9.500	9.500	€
Wärmespeicher	56.812	55.403	95.139	95.402	€
Wärmeleitungen 300 €/m, 500 m	150.000	150.000	150.000	150.000	€
Pumpe	509	509	1.008	1.008	€
Installation, Anbindung	26.585	26.585	19.076	19.076	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>259.032</b>	<b>257.623</b>	<b>324.304</b>	<b>324.567</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>					
Absorptionskältemaschine (AKM) (15 Jahre)	11.900	11.900	29.200	29.200	€
Ersatz 1	6.646	6.646	16.307	16.307	€
Kompressionskältemaschine (KKM) (15 Jahre)	7.926	7.926	20.381	20.381	€
Ersatz 1	4.426	4.426	11.382	11.382	€
Kühlturm (20 Jahre)	5.300	5.300	9.500	9.500	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	56.812	55.403	95.139	95.402	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	150.000	150.000	150.000	150.000	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	509	509	1.008	1.008	€
Ersatz 1	345	345	684	684	€
Installation, Anbindung	26.585	26.585	19.076	19.076	€
<b>Restwert nach 20 Jahren</b>					
AKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	3.471	3.471	8.518	8.518	€
KKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	2.312	2.312	5.945	5.945	€
Kühlturm (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	28.267	28.267	28.267	28.267	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	0	€
Installation, Anbindung	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>236.399</b>	<b>234.989</b>	<b>309.946</b>	<b>310.209</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
AKM	1.596	1.596	3.917	3.917	€/a
KKM	1.149	1.149	2.955	2.955	€/a
Kühlturm	712	712	1.277	1.277	€/a
Wärmespeicher	5.790	5.646	9.696	9.723	€/a
Wärmeleitung	11.393	11.393	11.393	11.393	€/a
Pumpe	80	80	158	158	€/a
Installation, Anbindung	2.133	2.133	1.531	1.531	€/a
	<b>22.854</b>	<b>22.711</b>	<b>30.927</b>	<b>30.954</b>	<b>€/a</b>
Vollbenutzungsstunden Kälte-/Klimaerzeugung	3.000	3.000	3.000	3.000	h
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromleistung	21,2	21,2	55,1	55,1	kW <sub>el</sub>
Strombedarf	63.450	63.450	165.180	165.180	kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	9.835	9.835	19.822	19.822	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>12.599</b>	<b>12.599</b>	<b>25.393</b>	<b>25.393</b>	<b>€/a</b>
<b>Wasserkosten</b>					
Frischwasser und Abwasser	2.300	2.300	5.900	5.900	€
<b>Annuität Summe</b>	<b>2.946</b>	<b>2.946</b>	<b>7.558</b>	<b>7.558</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	1.295	1.288	1.622	1.623	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.348</b>	<b>1.340</b>	<b>1.687</b>	<b>1.689</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-57: Kosten der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 4

**4 LAGERHAUS ERLÖSE**

Wärme- und Leistungsangebot und Nutzung					
nutzbare Abwärme	1.130	1.135	3.338	3.382	MWh/a
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Sommer	126	126	324	324	kW
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Winter	106	106	280	280	kW
genutzte Wärme für Kälteerzeugung	378.000	378.000	972.000	972.000	kWh
Vollbenutzungsstunden Heizen	1.000				h
genutzte Wärme für Heizen	106.000	106.000	280.000	280.000	kWh
produzierte Kälteleistung	79	79	204	204	kW
produzierte Kälte	237.000	237.000	612.000	612.000	kWh
Anteil am Abwärmepotenzial	42,8%	42,6%	37,5%	37,0%	
<b>Wärmeverkauf</b>					
Wärmeerlös	45	€ /MWh			
100%	4.770	4.770	12.600	12.600	€/a
<b>Erlös für Heizen</b>	<b>6.111</b>	<b>6.111</b>	<b>16.141</b>	<b>16.141</b>	<b>€/a</b>
<b>Kälteerzeugung</b>					
Unterbietung konv. Kältepreis um	15%				
Kälteerlös	72,94	€/MWh	67,4	€/MWh	
100%	17.286	17.286	41.232	41.232	
<b>Erlös für Kälte</b>	<b>22.144</b>	<b>22.144</b>	<b>52.821</b>	<b>52.821</b>	
<b>KWK Bonus</b>					
Stromkennzahl (Strom/Wärme)	0,75	0,75	0,87	0,87	
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>9.680</b>	<b>9.680</b>	<b>25.040</b>	<b>25.040</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>-1.812</b>	<b>-1.661</b>	<b>28.437</b>	<b>28.409</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>-1.737</b>		<b>28.423</b>		<b>€/a</b>
erforderlicher Kälteerlös (inkl. Wärmeverkauf)	78,91	78,41	31,10	31,14	€/MWh

Tabelle 13-58: Erlöse der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 4

**5 GEWERBEFLÄCHE KOSTEN**

5 BHKW & Double-Effekt/Single-Effekt AKM, Vollversorgung Klimakälte und Heizwärme, ca. 3.500 m² Gewerbefläche		Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>				
Absorptionskältemaschine		84.100	84.100	€
Kompressionskältemaschine				
Kühlturm		10.600	10.600	€
Wärmespeicher		95.139	95.402	€
Wärmeleitungen 300 €/m, 500 m		150.000	150.000	€
Pumpe		1.008	1.008	€
Installation, Anbindung		36.730	36.730	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>0</b>	<b>377.577</b>	<b>377.840</b>	<b>€</b>
<b>Barwerte</b>				
Absorptionskältemaschine (AKM) (15 Jahre)	0	84.100	84.100	€
Ersatz 1	0	46.965	46.965	€
Kompressionskältemaschine (KKM) (15 Jahre)				€
Ersatz 1				€
Kühlturm (20 Jahre)	0	10.600	10.600	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	95.139	95.402	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	0	150.000	150.000	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	1.008	1.008	€
Ersatz 1	0	684	684	€
Installation, Anbindung	0	36.730	36.730	€
<b>Restwert nach 20 Jahren</b>				
AKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	0	24.532	24.532	€
KKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)				€
Kühlturm (20 Jahre)	0	0	0	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	0	0	€
Wärmeleitung (40 Jahre)	0	28.267	28.267	€
Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	0	€
Installation, Anbindung	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>0</b>	<b>372.426</b>	<b>372.690</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>				
AKM	0	0	11.282	11.282 €/a
Kühlturm	0	0	1.425	1.425 €/a
Wärmespeicher	0	0	9.696	9.723 €/a
Wärmeleitung	0	0	11.393	11.393 €/a
Pumpe	0	0	158	158 €/a
Installation, Anbindung	0	0	2.947	2.947 €/a
	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>36.901</b>	<b>36.928 €/a</b>
<b>Vollbenutzungsstunden Kalte-/Klimaerzeugung</b>				
			900	900 h
<b>Stromkosten</b>				
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12 €/kWh <sub>el</sub>
Stromleistung			14,8	14,8 kW <sub>el</sub>
Strombedarf			13.275	13.275 kWh <sub>el</sub>
Stromkosten	0	0	1.593	1.593 €/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.041</b>	<b>2.041</b>
<b>Wasserkosten</b>				
Frischwasser und Abwasser			2.100	2.100 €
<b>Annuität Summe</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.690</b>	<b>2.690</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>				
	0	0	1.888	1.889 €/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.965</b>	<b>1.966 €/a</b>

Tabelle 13-59: Kosten der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 5

**5 GEWERBEFLÄCHE ERLÖSE**

<b>Wärme- und Leistungsangebot und Nutzung</b>				
nutzbare Abwärme	1.130	1.135	3.338	3.382 MWh/a
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Sommer			324	324 kW
genutzte Biogas-BHKW-Abwärme Winter			280	280 kW
genutzte Wärme für Kälteerzeugung	0	0	291.600	291.600 kWh
Vollbenutzungsstunden Heizen	2.100 h			
genutzte Wärme für Heizen	0	0	588.000	588.000 kWh
produzierte Kälteleistung			337	337 kW
produzierte Kälte	0	0	303.300	303.300 kWh
Anteil am Abwärmepotenzial	0,0%	0,0%	26,4%	26,0%
<b>Wärmeverkauf</b>				
Wärmeerlös	45 €/MWh			
100%	0	0	26.460	26.460 €/a
<b>Erlös für Heizen</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>33.897</b>	<b>33.897 €/a</b>
<b>Kälteerzeugung</b>				
Unterbietung konv. Kältepreis um	15%			
Kälteerlös	0,00 €/MWh		56,7 €/MWh	
100%	0	0	17.209	17.209
<b>Erlös für Kälte</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>22.046</b>	<b>22.046</b>
<b>KWK Bonus</b>				
Stromkennzahl (Strom/Wärme)	0,75	0,75	0,87	0,87
	0,02	0,02	0,02	0,02 €/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>			<b>15.246</b>	<b>15.246 €/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>27.592</b>	<b>27.564 €/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>			<b>27.578</b>	<b>€/a</b>
erforderlicher Kälteerlös (inkl. Wärmeverkauf)			-14,27	-14,20 €/MWh

Tabelle 13-60: Erlöse der Wärme- und Kälteversorgung, Verbraucher 5

## 13.7 Effizienteres Motor-BHKW (Zündstrahlmotor)–Variante 5

## REFERENZANLAGE MIT ZÜNDSTRAHLMOTOR

Referenzanlagen mit Zündstrahlmotor	Einheit	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV
<b>BHKW</b>			
Bauart		Zündstrahl	Zündstrahl
Wirkungsgrad el. laut Hersteller (Nennwirkungsgrad)		41,0%	41,0%
Wirkungsgrad el. real		38,0%	38,0%
Wirkungsgradsteigerung in % gegenüber Referenz		15%	15%
Wirkungsgrad th. laut Hersteller (Nennwirkungsgrad) (exkl. Abgasverluste)		45,0%	45,0%
Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste)		44,0%	44,0%
<b>Energiebilanz mit Zündöl</b>			
Motorlaufzeit	h/a	7.500	7.500
Bruttoenergie im verbleibenden Biogas <sup>1</sup>	MWh/a	3.118	3.116
RME Energieinhalt	kWh/l	9,20	9,20
Zündölanteil von Bruttoenergie im verbleibenden Biogas	5%		
Energie RME	MWh/a	156	156
Verbrauch RME	l/a	16.944	16.934
Nutzbare Energie für BHKW-Motor	MWh/a	3.274	3.272
<b>Elektrische Leistung</b>			
Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung)	kW <sub>el</sub>	180	180
Leistung laut Herstellerwirkungsgrad	kW <sub>el</sub>	179	179
Leistung real laut Wirkungsgrad el. real	kW <sub>el</sub>	166	166
<b>Thermische Leistung</b>			
Leistung laut Herstellerwirkungsgrad	kW <sub>th</sub>	196	196
Leistung laut Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste)	kW <sub>th</sub>	192	192
<b>Nutzenergieerzeugung</b>			
Stromerzeugung real ( 7500 Stunden * Leistung real)	MWh <sub>el</sub> /a	1.244	1.243
Wärmeerzeugung gesamt real	MWh <sub>th</sub> /a	1.440	1.440
Stromkennzahl		0,91	0,91
Stromerzeugung Zunahme gegenüber Gas-Otto-Motor	MWh <sub>el</sub> /a	215	215
		17,3%	17,3%
Wärmeerzeugung Abnahme gegenüber Gas-Otto-Motor	MWh <sub>th</sub> /a	37	37
		2,7%	2,7%
Mehrnutzen durch Wirkungsgradsteigerung auf Basis Referenz	MWh <sub>th</sub> /a	156	156

Tabelle 13-61: Zündstrahlmotor, RME ... Rapsmethylester (Biodiesel)



## REFERENZANLAGEN MIT ZÜNDSTRAHLMOTOR KOSTEN

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	
<b>Investition</b>			
Investition je kW <sub>el</sub> Zündstrahlmotor	3.700	3.900	€/kW <sub>el</sub>
	555.000	585.000	€
davon Bau 60 %	333.000	351.000	€
davon Technik 40 %	222.000	234.000	€
davon BHKW	117.000	117.000	€
davon Motor	22.500	22.500	€
Planung, Genehmigung, Netzanschluss (in den Investitionen enthalten)	0,00	0,00	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>555.000</b>	<b>585.000</b>	€
Barwert			
Bau (50 Jahre)	333.000	351.000	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	199.500	211.500	€
Ersatz 1	111.410	118.111	€
Motor (Ersatzbeschaffung nach je 5 Jahren)	22.500	22.500	€
Ersatz 1	18.529	18.529	€
Ersatz 2	15.258	15.258	€
Ersatz 3	12.565	12.565	€
Genehmigung	0	0	€
Restwert			
Bau (50 Jahre)	75.303	79.373	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	58.195	61.696	€
Motor (Ersatzbeschaffung nach je 5 Jahren)	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>579.264</b>	<b>608.395</b>	€
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>			
Bau	27.895	29.402	€/a
Technik	33.248	35.248	€/a
Motor	6.012	6.012	€/a
Planung, Genehmigung, Netzanschluss	0	0	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>67.155</b>	<b>70.663</b>	€/a
<b>Substratkosten</b>			
Maissilage	0	57.354	€/a
Grassilage	59.699	0	€/a
Getreide-Ganzpflanzensilage mittl. Körneranteil	0	20.010	€/a
Getreide-Körner (Tritikale)	26.014	11.448	€/a
	90.855	94.141	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>94.546</b>	<b>97.965</b>	€/a
<b>Stromkosten</b>			
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	€/kWh <sub>el</sub>
Stromanteil Bedarf von Erzeugung	5%	5%	€/a
Stromkosten	9.641	9.635	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>12.350</b>	<b>12.343</b>	€/a
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>			
Arbeitsstunden	671	778	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	€/h
	9.062	10.496	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>9.430</b>	<b>10.923</b>	€/a
<b>Versicherungen 0,5%</b>			
	2.775	2.925	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>2.888</b>	<b>3.044</b>	€/a
<b>Zündöl (RME)</b>			
RME Kosten	0,80	0,80	€/l
	13.555	13.547	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>17.365</b>	<b>17.355</b>	€/a

Tabelle 13-62: Zündstrahlmotor Kosten inkl. Biogasanlage

## REFERENZANLAGEN MIT ZÜNDSTRAHLMOTOR ERLÖSE

<b>Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung</b>			
Heizölpreis	0,55	0,55	€/l
Abw ärmeverbrauch	49	49	MWh/a
Gutschrift durch Heizölsparsnis	3.143	3.143	€/a
Anteil an nutzbaren Abw ärme	3,4%	3,4%	
<b>Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung</b>	<b>4.026</b>	<b>4.026</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>			
	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>892</b>	<b>892</b>	<b>€/a</b>
<b>Erlös für Stromeinspeisung 2005</b>			
€/kWh <sub>el</sub>	1.244	1.243	MWh <sub>el</sub> /a
0,1133 €	127.434	127.434	€
0,0975 €	11.599	11.528	€
0,0877 €	0	0	€
0,0827 €	0	0	€
<b>Einnahmen Stromeinspeisung</b>	<b>139.033</b>	<b>138.962</b>	<b>€/a</b>
Mehreinnahmen gegenüber Gas-Otto-Motor	22.493	22.490	€/a
<b>Naw aro-Bonus</b>			
	0,06	0,06	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Naw aro-Bonus</b>	<b>74.637</b>	<b>74.593</b>	<b>€/a</b>
Mehreinnahmen gegenüber Gas-Otto-Motor	12.907	12.900	€/a
<b>Düngerwert</b>			
	10.287	8.251	€/a
<b>Düngerwert</b>	<b>10.705</b>	<b>8.587</b>	<b>€/a</b>
<b>Gew innannuität</b>	<b>25.560</b>	<b>14.768</b>	<b>€/a</b>
<b>Differenz gegenüber Gas-Otto-Motor</b>	<b>17.111</b>	<b>15.256</b>	<b>€/a</b>
Stromgestehungskosten Zündstrahlmotor	0,164	0,171	€/kWh <sub>el</sub>

Tabelle 13-63: Zündstrahlmotor Erlöse inkl. Biogasanlage

## 13.7.1 Motor-BHKW mit ORC-Nachverstromung–Variante 5

ORC-NACHVERSTROMUNG KOSTEN			
Referenzanlagen	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>			
Investition je kW <sub>el</sub> (50 kW <sub>el</sub> )	7.000	7.000	€/kW <sub>el</sub>
	350.000	350.000	€
davon Container und Einbindung	10%		
	35.000	35.000	€
davon Technik	80%		
	280.000	280.000	€
davon Motor/Turbine	15%		
	42.000	42.000	€
Planung, Genehmigung	10%		
	35.000	35.000	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>350.000</b>	<b>350.000</b>	<b>€</b>
Barwert			
Container und Einbindung (20 Jahre)	35.000	35.000	€
Technik (20 Jahre)	238.000	238.000	€
Ersatz 1	0	0	€
Motor (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	42.000	42.000	€
Ersatz 1	28.482	28.482	€
Ersatz 2	0	0	€
Genehmigung	35.000	35.000	€
Restwert			
Container und Einbindung (20 Jahre)	0	0	€
Technik (20 Jahre)	0	0	€
Motor (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren)	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>378.482</b>	<b>378.482</b>	<b>€</b>
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>	<b>100%</b>		
Container und Einbindung (20 Jahre)	3.567	3.567	€/a
Technik (20 Jahren)	34.570	34.570	€/a
Motor (1 Ersatzbeschaffungen nach je 10 Jahren)	6.566	6.566	€/a
Planung, Genehmigung, Netzanschluss	2.808	2.808	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>47.512</b>	<b>47.512</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromkosten</b>			
Strompreis bei Zukauf	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromleistung	8	8	kW <sub>el</sub>
Vollbenutzungsstunden	7.500	7.500	h
Stromkosten	7.200	7.200	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>9.224</b>	<b>9.224</b>	<b>€/a</b>
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>			
Arbeitsstunden	50	50	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	€/h
100%	675	675	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>702</b>	<b>702</b>	<b>€/a</b>
<b>Versicherungen 0,5%</b>			
	1.750	1.750	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.821</b>	<b>1.821</b>	<b>€/a</b>

Tabelle 13-64: ORC-Anlage Kosten

**ORC-NACHVERSTROMUNG ERLÖSE**

**1. Einspeisevergütung und nur Technologiebonus für Strom aus ORC**

<b>Erlös für ORC-Stromeinspeisung 2008 (50 kW<sub>el</sub> *7.500/1000) bezogen auf</b>			
<b>510 kW<sub>el</sub> Einspeisung (inkl. 460 kW<sub>el</sub> Motor-BHKW)</b>			
Stromleistung	49,9	49,9	kW <sub>el</sub>
Erlös 2008 / Stromerzeugung mit dem ORC	374	374	MWh <sub>el</sub> /a
	9,744 €	36.449	€
<b>Einnahmen Stromeinspeisung</b>	<b>36.449</b>	<b>36.449</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus (wird bei Vergütungsmodell 1 nicht gewährt)</b>			
	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
Abwärmenutzung zur Verstromung	2.138	2.138	MWh/a
Anteil am Abwärmepotenzial	64%	63%	
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>€/a</b>
<b>Innovations-/Technologiebonus</b>			
	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen Innov./Technologiebonus</b>	<b>7.481</b>	<b>7.481</b>	<b>€/a</b>
<b>Nawaro-Bonus</b>			
	0,0596	0,0596	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Nawaro-Bonus</b>	<b>22.299</b>	<b>22.299</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>6.970</b>	<b>6.970</b>	<b>€/a</b>
<b>Stromgestehungskosten ORC</b>			
	0,158	0,158	€/kWh <sub>el</sub>

Tabelle 13-65: ORC-Anlage Erlöse

Investitionskosten ORC	350.000 €
BHKW Leistung el.	460 kW <sub>el</sub>
Abw ärmeleistung genutzt	285 kW <sub>th</sub>
Wirkungsgrad el.	17,5 %
Leistung ORC	49,9 kW <sub>el</sub>
Eigenstrombedarf	8 kW <sub>el</sub>
Eigenstromkosten	12 Cent/kWh <sub>el</sub>
Leistung elektrisch gesamt	509,9 kW <sub>el</sub>

Einspeisevergütung	<b>2008</b>	
bis 150 kW <sub>el</sub>	10,83	Cent/kWh <sub>el</sub>
bis 500 kW <sub>el</sub>	9,32	Cent/kWh <sub>el</sub>
bis 5.000 kW <sub>el</sub>	8,38	Cent/kWh <sub>el</sub>
Einspeiseerlös	9,74	Cent/kWh <sub>el</sub>
Naw aro bis 500 kW <sub>el</sub>	6	Cent/kWh <sub>el</sub>
Naw aro bis 5.000 kW <sub>el</sub>	4	Cent/kWh <sub>el</sub>
Naw aro	5,96	Cent/kWh <sub>el</sub>
Technologiebonus bis 5.000 kW <sub>el</sub>	2	Cent/kWh <sub>el</sub>
Erlös ORC Strom	<b>17,71</b>	Cent/kWh <sub>el</sub>

**Stromgestehungskosten in Cent/kWh<sub>el</sub>**

Jahresvollbenutzungsstunden	Zinssatz								
	2	3	4	5	6	7	8	9	
5.000	19,84	20,58	21,53	22,44	23,38	24,36	25,37	26,42	
5.500	18,28	18,95	19,81	20,64	21,50	22,38	23,31	24,26	
6.000	16,98	17,59	18,38	19,14	19,92	20,74	21,58	22,45	
6.500	15,87	16,44	17,17	17,87	18,60	19,35	20,13	20,93	
7.000	14,93	15,46	16,14	16,78	17,46	18,16	18,88	19,63	
7.500	14,11	14,60	15,24	15,84	16,47	17,12	17,80	18,49	
8.000	13,39	13,86	14,45	15,02	15,61	16,22	16,85	17,50	
8.500	12,76	13,20	13,76	14,29	14,85	15,42	16,02	16,63	

**1. Einspeisevergütung und nur Technologiebonus für Strom aus ORC**

Jahresvollbenutzungsstunden	Zusätzliche Gew innannuität bei der ORC-Nachverstromung 2008								
	2	3	4	5	6	7	8	9	
5.000	-5.322	-7.169	-9.540	-11.797	-14.149	-16.590	-19.115	-21.720	
5.500	-1.568	-3.416	-5.786	-8.044	-10.395	-12.836	-15.362	-17.967	
6.000	2.186	338	-2.032	-4.290	-6.642	-9.083	-11.608	-14.213	
6.500	5.939	4.091	1.721	-537	-2.888	-5.329	-7.855	-10.460	
7.000	9.693	7.845	5.475	3.217	865	-1.576	-4.101	-6.706	
7.500	13.446	11.598	9.228	6.970	4.619	2.178	-348	-2.952	
8.000	17.200	15.352	12.982	10.724	8.372	5.931	3.406	801	
8.500	20.953	19.106	16.735	14.477	12.126	9.685	7.159	4.555	

**2. Einspeisevergütung und Technologiebonus für Strom aus Motor-BHKW und Strom aus ORC**

Jahresvollbenutzungsstunden	Zusätzliche Gew innannuität bei der ORC-Nachverstromung 2008								
	2	3	4	5	6	7	8	9	
5.000	40.678	38.831	36.460	34.203	31.851	29.410	26.885	24.280	
5.500	49.032	47.184	44.814	42.556	40.205	37.764	35.238	32.633	
6.000	57.386	55.538	53.168	50.910	48.558	46.117	43.592	40.987	
6.500	65.739	63.891	61.521	59.263	56.912	54.471	51.945	49.340	
7.000	74.093	72.245	69.875	67.617	65.265	62.824	60.299	57.694	
7.500	82.446	80.598	78.228	75.970	73.619	71.178	68.652	66.048	
8.000	90.800	88.952	86.582	84.324	81.972	79.531	77.006	74.401	
8.500	99.153	97.306	94.935	92.677	90.326	87.885	85.359	82.755	

**3. Einspeisevergütung und KWK-Bonus für Strom aus Motor-BHKW und Technologiebonus für Strom aus ORC**

Jahresvollbenutzungsstunden	Zusätzliche Gew innannuität bei der ORC-Nachverstromung 2008								
	2	3	4	5	6	7	8	9	
5.000	19.378	17.531	15.160	12.903	10.551	8.110	5.585	2.980	
5.500	25.602	23.754	21.384	19.126	16.775	14.334	11.808	9.203	
6.000	31.826	29.978	27.608	25.350	22.998	20.557	18.032	15.427	
6.500	38.049	36.201	33.831	31.573	29.222	26.781	24.255	21.650	
7.000	44.273	42.425	40.055	37.797	35.445	33.004	30.479	27.874	
7.500	50.496	48.648	46.278	44.020	41.669	39.228	36.702	34.098	
8.000	56.720	54.872	52.502	50.244	47.892	45.451	42.926	40.321	
8.500	62.943	61.096	58.725	56.467	54.116	51.675	49.149	46.545	

Tabelle 13-66: ORC-Anlage, Stromgestehungskosten und zusätzliche Gewinnannuitäten

**13.7.2 Brennstoffzellen–Variante 5**

Projektname	Laufzeit	Partner	Förderung	BZ/eta-System	Gasaufbereitung
Farmatic Biotech	2001–2004	FAL, TB, Farmatic	FNR	PEM 250 W	Biologische Entschwefelung, Dampfreformer, Adsorption
Agrartechnik Bornim	2004–	ATB, Potsdam s & r, Berlin		PEM 600 W, 39–45 %	Aktivkohlefilter, Dampfreformer, CO-Shift, SelOx
Köln Rodenkrichen	2000–	GEW		PAFC 200 kW, 37 %	Tiefkühlung, Adsorption, Partikelfilter
EFFECTIVE	7 / 2002–7 / 2004	Profactor	EU	MCFC 300 W, < 50 %	Biologische Entschwefelung, chemische Entschwefelung
Biogas in Brennstoffzellen	2 / 2002–	Schmack, mtu-cfc, e.on	FNR, e.on	MCFC 300 W, 45 %	Biologische Entschwefelung, Feinreinigung, Nachreinigung
Abwasserwerk Ahlen	6 / 2004–	mtu-cfc, RWE Fuel Cells	NRW, Daimler	MCFC 250 kW, 49 %	Kältewaschtrockner, Aktivkohlefilter
Vergärungsanlage Leonberg	? / 2006–	Landkreis Böblingen, mtu-cfc, RWE Fuel Cells	Bund und Land BaWü., EnBW, RWE, Daimler	MCFC 250 kW	
HEXIS SOFC mit Biogas	7 / 2000–2 / 2002	Sulzer Hexis	Schweizer Bundesamt	SOFC 1 kW, 30 %	Filter für Schwefel, Halogene, Siloxane

Tabelle 13-67: Übersicht von Forschungsprojekten zum Biogaseinsatz in Brennstoffzellen

## 13.8 Biogasleitung–Variante 6

## GASLEITUNG mit ZWEI BHKW KOSTEN

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Investition je kW <sub>el</sub>					€/kW <sub>el</sub>
Investition	550.600	580.600	1.609.840	1.557.744	€
davon Bau	60%				
	330.360	348.360	965.904	934.646	€
davon Technik	40%				
	220.240	232.240	643.936	623.098	€
davon BHKW	127.600	127.600	308.000	314.160	€
davon Motor	36.250	36.250	125.000	127.500	€
Gasleitung 1500 m, 60 €/m	90.000	90.000	90.000	90.000	€
Container	148.000	148.000	148.000	148.000	€
Wärmespeicher	47.330	46.156	79.261	79.480	€
Gasverdichter	220	220	250	250	€
Planung, Genehmigung, Netzanschluss enthalten	0	0	0	0	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>836.150</b>	<b>864.976</b>	<b>1.927.351</b>	<b>1.875.474</b>	€
Mehrinvestition gegenüber Referenzanlage	281.150	279.976	377.351	325.474	€
<b>Barwerte</b>					
Bau (50 Jahre)	330.360	348.360	965.904	934.646	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	183.990	195.990	518.936	495.598	€
Ersatz 1	102.748	109.450	289.798	276.764	€
Motor (2 Ersatzbeschaffungen nach je 7 Jahren)	36.250	36.250	125.000	127.500	€
Ersatz 1	27.621	27.621	95.243	97.148	€
Ersatz 2	21.045	21.045	72.570	74.022	€
Leitungen (20 Jahre)	90.000	90.000	90.000	90.000	€
Container (20 Jahre)	148.000	148.000	148.000	148.000	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	47.330	46.156	79.261	79.480	€
Gasverdichter (20 Jahre)	220	220	250	250	€
<b>Restwert</b>					
Bau (50 Jahre)	74.706	78.776	218.423	211.355	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	53.671	57.171	151.376	144.568	€
Motor (2 Ersatzbeschaffungen nach je 7 Jahren)	2.243	2.243	7.736	7.891	€
Leitungen (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Container (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0	0	0	0	€
Gasverdichter (20 Jahre)	0	0	0	0	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>856.945</b>	<b>884.901</b>	<b>2.007.426</b>	<b>1.959.595</b>	€
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Bau	27.673	29.181	80.911	78.293	€/a
Technik	30.663	32.663	86.485	82.595	€/a
Motor	7.419	7.419	25.584	26.096	€/a
Leitungen	8.197	8.197	8.197	8.197	€/a
Wärmespeicher	4.824	4.704	8.078	8.100	€/a
Container	15.083	15.083	15.083	15.083	€/a
Gasverdichter	18	18	20	20	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>93.878</b>	<b>97.266</b>	<b>224.358</b>	<b>218.384</b>	€/a
<b>Substratkosten</b>					
Maissilage	0	57.354	170.859	232.216	€/a
Grassilage	59.699	0	0	0	€/a
Getreide-Ganzpflanzensilage mittl. Körneranteil	0	20.010	56.695	23.345	€/a
Getreide-Körner (Tritikale)	26.014	11.448	47.516	20.332	€/a
Summe	90.855	94.141	291.574	292.446	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>94.546</b>	<b>97.965</b>	<b>303.417</b>	<b>304.323</b>	€/a
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromanteil Bedarf von Erzeugung	6,3%	6,3%	6,3%	6,3%	
Stromkosten	10.046	10.041	26.152	26.134	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>12.870</b>	<b>12.863</b>	<b>33.502</b>	<b>33.479</b>	€/a
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
Arbeitsstunden	806	933	2.106	2.595	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
	10.874	12.596	28.431	35.033	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>11.316</b>	<b>13.107</b>	<b>29.586</b>	<b>36.455</b>	€/a
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	4.181	4.325	9.637	9.377	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>4.351</b>	<b>4.501</b>	<b>10.028</b>	<b>9.758</b>	€/a
<b>Pacht</b>	70	€/m <sup>2</sup> *a	15	m <sup>2</sup>	
	1.050	1.050	1.050	1.050	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.093</b>	<b>1.093</b>	<b>1.093</b>	<b>1.093</b>	€/a

Tabelle 13-68: Kosten Gasleitung mit zwei BHKW inkl. Biogasanlage

**GASLEITUNG mit ZWEI BHKW ERLÖSE**

<b>Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung (Wirtschaftsgebäude)</b>					
Heizölpreis	0,55	0,55	0,55	0,55	€/l
Gutschrift durch Heizölsparsnis	3.143	3.143	5.028	5.028	€/a
<b>Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung</b>	<b>4.026</b>	<b>4.026</b>	<b>6.442</b>	<b>6.442</b>	<b>€/a</b>
<b>KWK Bonus</b>					
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>13.881</b>	<b>13.956</b>	<b>46.442</b>	<b>47.121</b>	<b>€/a</b>
<b>Erlös für Stromeinspeisung 2005</b>					
Stromertrag 2005	983	984	3.404	3.405	MWh <sub>el</sub> /a
€/kWh <sub>el</sub>	0,1133	111.400	111.457	115.682	115.726
	0,0975	0	0	232.370	232.459
	0,0877	0	0	0	0
	0,0827	0	0	0	0
<b>Einnahmen Stromeinspeisung</b>	<b>111.400</b>	<b>111.457</b>	<b>348.052</b>	<b>348.186</b>	<b>€/a</b>
<b>Nawaro-Bonus</b>					
	0,06	0,06	0,06	0,06	€
	<b>59.007</b>	<b>59.037</b>	<b>204.250</b>	<b>204.328</b>	<b>€/a</b>
<b>Düngerwert</b>					
	10.287	8.251	25.251	25.894	€/a
<b>Düngerwert</b>	<b>10.705</b>	<b>8.587</b>	<b>26.277</b>	<b>26.946</b>	<b>€/a</b>
<b>Wärmeerlös</b>					
Wärmeverkauf	889	894	2.612	2.651	MWh/a
Wärmeerlös	35	€/MWh			
Anteil am Abwärmepotenzial	78,7%	78,7%	78,2%	78,4%	
	28.003	28.161	82.264	83.499	€/a
<b>Wärmeerlöse</b>	<b>35.874</b>	<b>36.076</b>	<b>105.385</b>	<b>106.967</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität</b>	<b>16.841</b>	<b>6.345</b>	<b>134.863</b>	<b>136.497</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Mittelwert</b>	<b>11.593</b>		<b>135.680</b>		<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Differenz zu Referenzanlage</b>	<b>8.392</b>	<b>6.833</b>	<b>86.951</b>	<b>94.799</b>	<b>€/a</b>
<b>Gewinnannuität Differenz zu Referenzanlage Mittelwert</b>	<b>7.612</b>		<b>90.875</b>		<b>€/a</b>

Tabelle 13-69: Erlöse Gasleitung mit zwei BHKW inkl. Biogasanlage

**BHKW 1 zur FERMENTERBEHEIZUNG**

<b>BHKW zur Fermenterbeheizung</b>					
Wärmebedarf Fermenter und Gebäude	273	267	698	651	MWh/a
<b>BHKW</b>					
Bauart	Gas-Otto	Gas-Otto	Gas-Otto	Gas-Otto	
Wirkungsgrad el. laut Hersteller (Nennwirkungsgrad)	29,0%	29,0%	36,0%	36,0%	
Wirkungsgrad el. real	26,0%	26,0%	33,0%	33,0%	
Wirkungsgrad th. laut Hersteller (Nennwirkungsgrad) (ex)	52,0%	52,0%	48,0%	48,0%	
Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste)	49,0%	49,0%	45,0%	45,0%	
Motorlaufzeit	7.500	7.500	7.500	7.500	h/a
Notwendige Biogasenergie für das BHKW	648	633	1.837	1.713	MWh/a
<b>Elektrische Leistung</b>					
Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung)	25	25	90	90	kW <sub>el</sub>
Leistung laut Herstellerwirkungsgrad	25	24	88	82	kW <sub>el</sub>
Leistung real laut Wirkungsgrad el. real	22	22	81	75	kW <sub>el</sub>
<b>Thermische Leistung</b>					
Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung)	40	40	120	110	kW <sub>th</sub>
Leistung laut Herstellerwirkungsgrad	45	44	118	110	kW <sub>th</sub>
Leistung laut Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste)	42	41	110	103	kW <sub>th</sub>
<b>Nutzenergieerzeugung</b>					
Stromerzeugung	169	164	606	565	MWh <sub>el</sub> /a
Wärmeerzeugung	273	267	698	651	MWh <sub>th</sub> /a
Stromkennzahl	0,56	0,56	0,75	0,75	
<b>Investitionskosten</b>					
	880	880	880	880	€/kW <sub>el</sub>
Investitionskosten BHKW	22.000	22.000	79.200	79.200	€

Tabelle 13-70: BHKW 1 zur Fermenterbeheizung



**BHKW 2 beim WÄRMEABNEHMER**

<b>BHKW beim WÄRMEABNEHMER</b>					Einheit
Bauart	Gas-Otto	Gas-Otto	Gas-Otto	Gas-Otto	
Wirkungsgrad el. laut Hersteller (Nennwirkungsgrad)	36%	36%	39%	39%	
Wirkungsgrad el. real	33%	33%	36%	36%	
Wirkungsgrad th. laut Hersteller (Nennwirkungsgrad) exkl. Abgasverluste	48%	48%	45%	45%	
Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste)	45%	45%	42%	42%	
Motorlaufzeit	7.500	7.500	7.500	7.500	h/a
Verfügbare Biogasenergie für das BHKW beim Abnehmer	2.469	2.483	7.772	7.889	MWh/a
<b>Elektrische Leistung</b>					
Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung)	120	120	410	420	kW <sub>el</sub>
Leistung laut Herstellerwirkungsgrad	119	119	404	410	kW <sub>el</sub>
Leistung real laut Wirkungsgrad el. real	109	109	373	379	kW <sub>el</sub>
<b>Thermische Leistung</b>					
Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung)	160	160	470	480	kW <sub>th</sub>
Leistung laut Herstellerwirkungsgrad	158	159	466	473	kW <sub>th</sub>
Leistung laut Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste)	148	149	435	442	kW <sub>th</sub>
<b>Nutzenergieerzeugung</b>					
Stromerzeugung	815	819	2.798	2.840	MWh <sub>el</sub> /a
Wärme nutzbar nach Abzug Abgasverluste	1.111	1.117	3.264	3.313	MWh <sub>th</sub> /a
Stromkennzahl	0,75	0,75	0,87	0,87	
	880	880	704	704	€/kW <sub>el</sub>
Investitionskosten BHKW	105.600	105.600	288.640	236.544	€
Investitionskosten beide BHKW und Biogasanlage	550.600	580.600	1.609.840	1.557.744	€

Tabelle 13-71: BHKW 2 beim Abnehmer

## GASLEITUNG und HOLZHACKSCHNITZELKESSEL KOSTEN

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Investition</b>					
Investition je kW <sub>el</sub>	3.700	3.900	3.100	3.100	€/kW <sub>el</sub>
Investition	555.000	585.000	1.550.000	1.550.000	€
davon Bau	60%				
	333.000	351.000	930.000	930.000	€
davon Technik	40%				
	222.000	234.000	620.000	620.000	€
	davon BHKW	132.000	132.000	308.000	€
	davon Motor	37.500	37.500	125.000	€
Gasleitung 1500 m, 60 €/m	90.000	90.000	90.000	90.000	€
Container	148.000	148.000	148.000	148.000	€
Wärmespeicher	47.330	46.156	79.261	79.480	€
Gasverdichter	220	220	250	250	€
Planung, Genehmigung, Netzanschluss enthalten	0	0	0	0	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>840.550</b>	<b>869.376</b>	<b>1.867.511</b>	<b>1.867.730</b>	€
Mehrinvestition gegenüber Referenzanlage	311.563	310.389	366.355	366.574	€
Barwert					
Bau (50 Jahre)	333.000	351.000	930.000	930.000	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	184.500	196.500	495.000	495.000	€
Ersatz 1	103.033	109.735	276.431	276.431	€
Motor (2 Ersatzbeschaffungen nach je 7 Jahren)	37.500	37.500	125.000	125.000	€
Ersatz 1	28.573	28.573	95.243	95.243	€
Ersatz 2	21.771	21.771	72.570	72.570	€
Leitungen (20 Jahre)	90.000	90.000	90.000	90.000	€
Container (20 Jahre)	148.000	148.000	148.000	148.000	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	47.330	46.156	79.261	79.480	€
Gasverdichter (20 Jahre)	220	220	250	250	€
Restwert					
Bau (50 Jahre)	75.303	79.373	210.304	210.304	€
Technik (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren)	53.820	57.320	144.394	144.394	€
Motor (2 Ersatzbeschaffungen nach je 7 Jahren)	2.321	2.321	7.736	7.736	€
Leitungen (20 Jahre)	0,00	0,00	0,00	0,00	€
Container (20 Jahre)	0,00	0,00	0,00	0,00	€
Wärmespeicher (20 Jahre)	0,00	0,00	0,00	0,00	€
Gasverdichter (20 Jahre)	0,00	0,00	0,00	0,00	€
<b>Barwert-Restwert</b>	<b>862.485</b>	<b>890.441</b>	<b>1.949.321</b>	<b>1.949.540</b>	€
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Bau	27.895	29.402	77.904	77.904	€/a
Technik	30.748	32.748	82.496	82.496	€/a
Motor	7.675	7.675	25.584	25.584	€/a
Leitungen	8.197	8.197	8.197	8.197	€/a
Container	15.083	15.083	15.083	15.083	€/a
Wärmespeicher	4.824	4.704	8.078	8.100	€/a
Gasverdichter	18	18	20	20	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>94.440</b>	<b>97.828</b>	<b>217.361</b>	<b>217.384</b>	€/a
<b>Substratkosten</b>					
Maissilage	0	57.354	170.859	232.216	€/a
Grassilage	59.699	0	0	0	€/a
Getreide-Ganzpflanzensilage mittl. Körneranteil	0	20.010	56.695	23.345	€/a
Getreide-Körner (Triticale)	26.014	11.448	47.516	20.332	€/a
Summe	90.855	94.141	291.574	292.446	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>94.546</b>	<b>97.965</b>	<b>303.417</b>	<b>304.323</b>	€/a
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,120	0,120	€/kWh <sub>el</sub>
Stromanteil Bedarf von Erzeugung	7%	7%	7%	7%	
Stromkosten	11.163	11.156	29.058	29.038	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>14.300</b>	<b>14.292</b>	<b>37.225</b>	<b>37.199</b>	€/a
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
Arbeitsstunden	671	778	1.755	2.163	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50	13,50	13,50	13,50	€/h
	9.062	10.496	23.693	29.194	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>9.430</b>	<b>10.923</b>	<b>24.655</b>	<b>30.379</b>	€/a
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	4.203	4.347	9.338	9.339	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>4.373</b>	<b>4.523</b>	<b>9.717</b>	<b>9.718</b>	€/a
<b>Pacht</b>	70	€/m <sup>2</sup> *a	15	m <sup>2</sup>	
	1050	1050	1050	1050	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.093</b>	<b>1.093</b>	<b>1.093</b>	<b>1.093</b>	€/a
<b>Kosten Holzhackschnitzelkessel</b>					
<b>Annuität Summe</b>	<b>12.007</b>	<b>11.956</b>	<b>27.217</b>	<b>25.920</b>	€/a

Tabelle 13-72: Kosten Gasleitung mit Holzhackschnitzelkessel inkl. Biogasanlage

## GASLEITUNG und HOLZHACKSCHNITZELKESSEL ERLÖSE

Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung (Wirtschaftsgebäude)					
Heizölpreis	0,55	0,55	0,55	0,55	€/l
Gutschrift durch Heizölsparsnis	3.143	3.143	5.028	5.028	€/a
<b>Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung</b>	<b>4.026</b>	<b>4.026</b>	<b>6.442</b>	<b>6.442</b>	<b>€/a</b>
KWK Bonus					
	0,02	0,02	0,02	0,02	€/kWh <sub>el</sub>
<b>Einnahmen KWK</b>	<b>16.835</b>	<b>16.825</b>	<b>55.963</b>	<b>55.924</b>	<b>€/a</b>
Erlös für Stromeinspeisung 2005					
Stromertrag 2005	€/kWh <sub>el</sub>	1.029	1.028	3.459	3.457 MWh <sub>el</sub> /a
	0,1133	116.540	116.472	127.434	127.434 €
	0,0975	0	0	227.625	227.392 €
	0,0877	0	0	0	0 €
	0,0827	0	0	0	0 €
<b>Einnahmen Stromeinspeisung</b>	<b>116.540</b>	<b>116.472</b>	<b>355.060</b>	<b>354.827</b>	<b>€/a</b>
Nawaro-Bonus					
	0,06	0,06	0,06	0,06	€
	<b>61.730</b>	<b>61.693</b>	<b>207.555</b>	<b>207.412</b>	<b>€/a</b>
Düngerwert					
	10.287	8.251	25.251	25.894	€/a
<b>Düngerwert</b>	<b>10.705</b>	<b>8.587</b>	<b>26.277</b>	<b>26.946</b>	<b>€/a</b>
Wärmeerlös					
Wärmeverkauf	904	908	2.670	2.706	MWh/a
Wärmeerlös	35	€/MWh			
Anteil am Abwärmepotenzial	80,0%	80,0%	80,0%	80,0%	
	28.466	28.612	84.113	85.224	€/a
<b>Wärmeerlöse</b>	<b>36.466</b>	<b>36.654</b>	<b>107.754</b>	<b>109.177</b>	<b>€/a</b>
<b>Gesamtannuität</b>	<b>16.115</b>	<b>5.679</b>	<b>138.367</b>	<b>134.712</b>	<b>€/a</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>10.897</b>		<b>136.539</b>		<b>€/a</b>

Tabelle 13-73: Erlöse Gasleitung mit Holzhackschnitzelkessel inkl. Biogasanlage

**HOLZHACKSCHNITZELKESSEL KOSTEN**

Referenzanlagen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>INVESTITION</b>	50	50	140	140	kW
Kessel	8.271	8.271	15.206	15.206	€
Röhre	1.163	1.163	2.684	2.684	€
Kamin	3.500	3.500	4.000	4.000	€
Pufferspeicher	3.000	3.000	4.000	4.000	€
Hackschnitzellager	4.000	4.000	6.000	6.000	€
E-Installation	350	350	1.000	1.000	€
Technik	5.755	5.755	16.121	16.121	€
Regelung	1.700	1.700	5.400	5.400	€
BAFA/KfW Förderung	-3.000	-3.000	-8.400	-8.400	€
Planung, Genehmigung, Netzanschluss	1.273	1.273	2.833	2.833	€
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>26.012</b>	<b>26.012</b>	<b>48.844</b>	<b>48.844</b>	€
Barwert					
Kessel (20 Jahre)	8.271	8.271	15.206	15.206	€
Röhre (30 Jahre)	1.163	1.163	2.684	2.684	€
Kamin (50 Jahre)	3.500	3.500	4.000	4.000	€
Pufferspeicher (25 Jahre)	3.000	3.000	4.000	4.000	€
Hackschnitzellager (50 Jahre)	4.000	4.000	6.000	6.000	€
E-Installation (20 Jahre)	350	350	1.000	1.000	€
Technik (15 Jahre)	5.755	5.755	16.121	16.121	€
Ersatz 1	3.214	3.214	9.003	9.003	€
Regelung (15 Jahre)	1.700	1.700	5.400	5.400	€
Ersatz 1	949	949	3.016	3.016	€
Förderung	-3.000	-3.000	-8.400	-8.400	€
Planung, Genehmigung, Netzanschluss	1.273	1.273	2.833	2.833	€
Restwert					
Kessel (20 Jahre)	0,00	0,00	0,00	0,00	€
Röhre (30 Jahre)	146,14	146,14	337,17	337,17	€
Kamin (50 Jahre)	791,47	791,47	904,53	904,53	€
Pufferspeicher (25 Jahre)	226,13	226,13	301,51	301,51	€
Hackschnitzellager (50 Jahre)	904,53	904,53	1356,80	1356,80	€
E-Installation (20 Jahre)	0,00	0,00	0,00	0,00	€
Technik (15 Jahre)	1678,76	1678,76	4702,62	4702,62	€
Regelung (15 Jahre)	495,90	495,90	1575,21	1575,21	€
Förderung	0,00	0,00	0,00	0,00	€
Planung, Genehmigung, Netzanschluss	0,00	0,00	0,00	0,00	€
<b>Annuität Investition und Instandsetzung</b>					
Kessel	1.067	1.067	1.962	1.962	€/a
Röhre	107	107	246	246	€/a
Kamin	293	293	335	335	€/a
Pufferspeicher	265	265	353	353	€/a
Hackschnitzellager	292	292	438	438	€/a
E-Installation	30	30	86	86	€/a
Technik	710	710	1.988	1.988	€/a
Regelung	136	136	426	426	€/a
BAFA/KfW Förderung	-241	-241	-674	-674	€/a
Planung, Genehmigung, Netzanschluss	102	102	227	227	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>2.625</b>	<b>2.760</b>	<b>5.387</b>	<b>5.387</b>	€/a
<b>Holzhackschneitzelbedarf</b>					
Wärmebedarf	273	267	698	651	MWh/a
Heizwert Hackschnitzel	3,00	kWh/kg FS	Wassergehalt	35,0%	
Kessel-Jahresnutzungsgrad	73,0%				
Brennstoffenergiebedarf	374	365	956	892	MWh/a
Holzhackschneitzelbedarf	125	122	319	297	t FS/a
Preis	55,00	€/t FS	1,83	Ct/kWh	
	6.865	6.698	17.529	16.352	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>7.144</b>	<b>6.970</b>	<b>18.241</b>	<b>17.016</b>	€/a
<b>Stromkosten</b>					
Strompreis bei Zukauf	0,155	0,155	0,12	0,12	€/kWh <sub>el</sub>
Stromanteil Bedarf von Erzeugung	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	
Stromkosten	424	413	838	781	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>543</b>	<b>530</b>	<b>1.073</b>	<b>1.001</b>	
<b>Arbeitszeit für Anlagenbetreuung</b>					
Arbeitsstunden	104	104	156	156	h/a
Kosten für Anlagenbetreuung	13,50 €	13,50 €	13,50 €	13,50 €	€/h
	1.404	1.404	2.106	2.106	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>1.404</b>	<b>1.404</b>	<b>2.106</b>	<b>2.106</b>	€/a
<b>Kaminkehrer</b>					
	150	150	150	150	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>156</b>	<b>156</b>	<b>156</b>	<b>156</b>	€/a
<b>Versicherungen 0,5%</b>					
	130	130	244	244	€/a
<b>Annuität Summe</b>	<b>135</b>	<b>135</b>	<b>254</b>	<b>254</b>	€/a
<b>Summe Annuität der Kosten</b>	<b>12.007</b>	<b>11.956</b>	<b>27.217</b>	<b>25.920</b>	€/a
<b>Wärmegestehungskosten</b>	43,9	44,8	39,0	39,8	€/MWh

Tabelle 13-74: Hackschnitzelkessel Kosten, Annuität und Wärmegestehungskosten

## 13.9 Treibhausgasbilanz

Prozessschritt	Treibhausgas	Datenbereiche und verwendeter Wert
1. Bau und den Betrieb des Fermenters	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	0,29 g/kWh 5 % Eigenstrombedarf der Stromproduktion
2. Substratanbau und Bereitstellung Hintergrundlachgasemissionen	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	136-142 g CO <sub>2</sub> -Äquivalent/kWh <sub>el real</sub> Grünland 0,8 kg N <sub>2</sub> O/ha*a, Ackerland 0,7 kg N <sub>2</sub> O/ha*a
3. Gasverlust durch Folie (Gaslagerung)	Methan	0,1 % der Gesamtgasproduktion
4. Gasverlust durch Freisetzung bei Motorstillstand	Methan	ohne Notfackel 7 Tage im Jahr
5. Methanschlupf bei der Verbrennung im Motor	Methan	1 g Methan/m <sup>3</sup> Abgas
6. Nachgärer und Lagerung des Gärrests (Endlager) ohne Abdeckung	Methan	5 % des Methangehalts der Gesamtgasproduktion
	Lachgas	0–3,5 % des Stickstoffs, nicht berücksichtigt
	Ammoniak	< 7 % des Stickstoffs, 2 % N <sub>ges</sub>
7. Ausbringung des Gärrests	Ammoniak	6–18 % des Stickstoffs, 5 % N <sub>ges</sub>
	Lachgas	0,05–3,2 % des Stickstoffs, 0,4 % N <sub>ges</sub> (verwendet 1,25 %)
	Methan	< 0,1 %, nicht berücksichtigt in der Berechnung
8. Gutschrift Mineraldüngerersatz	CO <sub>2</sub>	Anteil Gärrest 70 %, 7,6 kg CO <sub>2</sub> /kg N
9. Gutschrift Güllenutzung	Methan	Minderung gegenüber Ausbringung um 78 % bei Rindergülle. Dies Wert gilt nur für Rinderhaltung.
10. Gutschrift Wärmenutzung	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	Heizöl 311 g/kWh <sub>Brst</sub>
11. Wärmeerzeugung und Fahrten	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	Hackgut 18,2 g/kWh <sub>Brst</sub> RME 1.109 g/Liter <sup>†</sup> Kraftstoff (Zündöl im Zündstrahlmotor) Diesel-LKW 778 g CO <sub>2</sub> /km, 25 Liter Diesel/100 km Kohle 446 g/kWh <sub>Brst</sub> Kesseljahresnutzungsgrad 80 %
12. Gutschrift Stromerzeugung	CO <sub>2</sub> -Äquivalent	625 g/kWh <sub>el</sub> (deutscher Strommix)

Tabelle 13-75: Daten für die Berechnung der Treibhausgasemissionen

### 1. Bau und den Betrieb des Fermenters

0,29 g/kWh<sub>Biogas</sub> (aus Prozess: Biogas aus Feuchtgut [GEMIS, 2004])

Eigenstrombedarf (Fremdbezug, deutscher Strommix): 625 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh<sub>el</sub> [GEMIS, 2007]

### 2. Substratanbau und Bereitstellung

Aufwand für die Bereitstellung eines Feuchtgut-Substrats:

- für eine Biogasanlage: 37,46 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh<sub>Biogas</sub> [GEMIS, 2004]
- Emissionen für NawaRo-Anlagen: 500 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> [WInst, 2005]
- Werte für Brandenburg: 100–200 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh<sub>el</sub> [Plöchl, 2003]

- Bereitstellung von Mais: 115–200 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh<sub>el</sub> [Berenz 2006], unterer Wert ohne Betrachtung von Lachgasemissionen

Als verwendete Mittelwerte ergeben sich daraus 136-142 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/kWh<sub>el real</sub>.

Als zusätzliche Hintergrundlachgasemissionen werden für Grünland 0,8 kg N<sub>2</sub>O/ha\*a und für Ackerland 0,7 kg N<sub>2</sub>O/ha\*a angenommen [IE, 2006] und Tabelle 13-78.

Wichtig für die Emissionen ist die Entfernung, über die die Substrate vom Erzeuger zur Anlage transportiert werden. Bei den genannten Werten sollte diese kleiner als 20 km sein. Eventuelle Methanemissionen der Pflanzen gehen nicht ein. Die Emissionen der Güllebereitstellung werden der Tierhaltung zugerechnet und nicht berücksichtigt.

### **3. Gasverlust durch Folie (Gaslagerung)**

0,1–0,5 % des Gases, [FNR, 2004], 0,04 % bei Folien des Unternehmens *Baur* bei doppelschaliger Abdeckung. Für die Berechnungen wurde ein Wert an der unteren Grenze der ermittelten Angaben gewählt (0,1 %), da gerade bei der Verwendung neuer doppelwandiger Tragluftdächer die Verluste sehr gering gehalten werden können. Zu beachten ist, dass bei den Folien eine Alterung auftritt, welche durch Verwitterung (insbesondere der einwandigen Speicherfolien) und Beanspruchung (insbesondere durch Überdehnung) verursacht wird und zu erheblich höheren Werten führen kann.

### **4. Gasverlust durch Freisetzung bei Motorstillstand und bei Anlagen ohne Notfackel**

Der Gasablass über das Überdruckventil insbesondere bei Wartung erfolgt dann, wenn keine Notfackel vorhanden ist. Die Wartungsintervalle betragen 30.000 h, die Dauer beträgt 3–7 Tage pro Jahr und alle 60.000 h ca. 14 Tage, abhängig von Wartungsverträgen.

### **5. Methanschlupf bei der Verbrennung im Motor**

Unverbranntes Gas verlässt den Motor mit dem Abgas [StMUGV, 2004], [Gronauer, 2003]. Der Wert für größere, moderne, gut eingestellte und gewartete Gas-Ottomotoren sowie Zündstrahlmotoren entspricht etwa  $1 \text{ g}_{\text{Methan}}/\text{m}^3_{\text{Abgas}}$ , entspricht ca. 2 % der Biogasenergie [Herdin, 2005b]. Entscheidend ist auch der Betriebs- und Wartungszustand des Motors. Biogasmotorenhersteller geben Werte von 2–4 % der produzierten Energie an.

### **6. Lagerung des Gärrests im Endlager ohne Abdeckung**

Methan-Emissionen entstehen, wenn das Lager nicht abgedeckt und an die Gasverwertung angeschlossen ist. Neuanlagen werden zunehmend abgedeckt errichtet. Die Nutzung des entstehenden Methans im Endlager zur Stromerzeugung erhöht die Stromerzeugung bzw. reduziert den Substratbedarf. Dieser Effekt ist berücksichtigt.

Der Anteil des Restgases aus dem Gärsubstratendlager wird bestimmt durch die vorangegangene Verweilzeit des Substrats im Fermenter, der Temperatur sowie der Art des eingesetzten Substrats.[FNR, 2006]. Methanemissionen werden in einer Untersuchung von Clemens et al. mit Werten für Sommer und Winter belegt, welche sich temperaturbedingt etwa um den Faktor 10 unterscheiden [Clemens, 2006]. Dabei ergeben sich Werte von 1,5 %–2 % der Gesamtgasmenge. Entsprechend im Labor ermittelte Daten liegen allerdings unter diesen Werten.

In [FNR, 2006], Anlagen BMP 25, BMP 19 und andere, ergeben sich Werte, die einem Methan-Restgaspotenzial von > 4 % der produzierten Methangasmenge entsprechen. Als Basiswert werden für

die Berechnung daher 5 % angenommen. Als erhöhter Wert werden 10 % gewählt und die Ergebnisse dargestellt.

Neben dem Methan werden Treibhausgasemissionen durch Ammoniak und Lachgas verursacht. Die Höhe der Emissionen wird dabei maßgeblich von sich bildenden Schwimmschichten beeinflusst. Lachgasemissionen können bei unvollständig feuchter / nasser Schwimmschicht auftreten. Aussagekräftige Werte über deren Größenordnung finden sich jedoch kaum. Oft werden im Labor wie auch in Gülleanlagen ohne Schwimmschicht keine Lachgasemissionen gemessen. Clemens et al. geben verschiedene Daten für Winter und Sommer aus einem Pilotversuch an, welche bei Anwendung auf die Referenzanlagen einem Anteil von 3–3,5 % des Gesamtstickstoffs entsprechen. In einer weiteren Untersuchung wurden aus Lagerbehältern Lachgasemissionen nur sehr selten beobachtet, und wenn, dann mit sehr geringem Einfluss auf die Gesamtbilanz [Clemens, 2003].

Größenordnungen der Ammoniakemissionen werden in der jüngeren Studie von Clemens et al. gegeben [Clemens, 2006], die wiederum zwischen Winter- und Sommerwerten unterscheidet. Dabei liegen die Sommerwerte etwa um einen Faktor 4 höher. Bei den Referenzanlagen entspricht das einem Verlust von etwa 7 % des Gesamtstickstoffs als Ammoniak. Ammoniakemissionen von Rindergülle sind aufgrund einer besseren Schwimmdeckenbildung geringer als diejenigen aus Schweinegülle.

### **7. Ausbringung des Gärrests**

Emissionen von  $N_2O$  und  $NH_3$  dominieren. Wird der Dünger so in den Boden eingebracht, dass Ammoniakemissionen vermieden werden, können durch biologische Abbauprozesse im Boden erhöhte Lachgasemissionen entstehen. Die Ausbringung sollte zur Vermeidung von Ammoniakemissionen dennoch vorzugsweise mit dem Schleppschlauch erfolgen. Die von Clemens ermittelten Methanemissionen sind vernachlässigbar, da sie unter einem Promille des Gesamtmethans liegen.

Nach [Clemens, 2003] können bei der Bewirtschaftung von Ackerland und Grünland Unterschiede bei den Emissionen auftreten. Demnach können die Gesamtemissionen auf Grünland höher liegen. Die Werte auf gleichem Boden sind nach Clemens maßgeblich von der Einbringtechnik abhängig. So können Abweichungen von über 25 kg/ha (Ackerland) bzw. über 100 kg/ha (Grünland) an Gesamtemissionen auftreten. Dabei überwiegt der Ammoniakanteil, jedoch kann je nach Einarbeitung in den Boden der Lachgasanteil beträchtlich ansteigen. Clemens gibt bei Gülle Werte von 0,05–0,97 % des Gesamtstickstoffs als Lachgasemission an. Bei Jäkel sind Werte zwischen 0,4–3,2 % zu finden [Jäkel, 1999]. Die Höhe der Lachgasemissionen sind von vielfältigen Einflussfaktoren abhängig, wie der Höhe der mineralischen Düngergabe, der Bodenbeschaffenheit, den Witterungsverhältnissen, der anschließenden Nutzung und des Nährstoffbedarfs der Anbausorte

In der Studie werden in der Berechnung Lachgasemissionen berücksichtigt, deren Ursprung der Anwendung von Stickstoffdüngern zugeschrieben wird. Diese Lachgasfreisetzungen wurden in [IE, 2006] auf Basis der vom IPCC (1996, 2000) veröffentlichten Emissionsfaktoren berechnet. Es wird angenommen, dass bei der Anwendung von Stickstoffdüngemitteln (auch Gärresten) 1,25 % der applizierten Stickstoffmenge als Lachgas emittiert.

Die Angaben über Ammoniakemissionen schwanken sehr stark. Es wird davon ausgegangen, dass im Gärrest 60 % des Gesamtstickstoffs als Ammoniumstickstoff vorliegen, von dem sich ca. 25 % als Ammoniak verflüchtigt [FNR, 2004].

### **8. Gutschrift Mineraldüngerersatz**

Den stärksten Einfluss auf die Emissionen des Anbaus hat die Mineraldüngerzugabe. Der Gärrest deckt als Dünger 70 % des Stickstoffbedarfs beim Anbau der Substrate, 30 % werden mineralisch zugefüttert.

Der Gärrest hat höherwertige Düngeeigenschaften als Mineraldünger. Die Nährstoffe werden von den Pflanzen besser aufgenommen und die Werte von  $N_{\min}$  im Boden liegen niedriger [Eder, 2006].

Durch die Verwendung des Gärrests wird Mineraldünger eingespart, dessen Einsatz mit Treibhausgas-Emissionen verbunden ist. Die Emission für Mineraldünger betragen 7,6 kg CO<sub>2</sub> Äquivalent/kg Stickstoff [GEMIS, 2004].

Der Anteil der Maschinennutzung beträgt 3–10 % [Plöchl, 2002]. Bei einem größeren Anteil an Gülle dürfte es durch den erhöhten Stickstoffanteil einfacher sein, einen geschlossenen Kreislauf ohne mineralische Zugabe zu führen. Auch die Fruchtfolge wirkt sich aus. Der Anbau von Stickstoff anreichernden Zwischenfrüchten, wie Leguminosen, reduziert die erforderliche Zudüngung. Allerdings sind selbst bei reinen NawaRo-Betrieben ohne Zukauf von Substraten mit hofeigener Verwendung des Gärrestes die Verluste kaum so zu minimieren, dass Mineraldünger gänzlich eingespart werden kann.

### **9. Gutschrift Güllenutzung**

Für die Methangasminderung gegenüber Ausbringung werden 78 % nach [Clemens, 2003] angenommen. Dieser Wert gilt nur bei Rindergülle. Für Schweinegülle ergibt sich ein geringerer Wert.

### **10. Gutschrift Wärmenutzung**

Für den Heizöleinsatz wird ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Wert von 311 g/kWh<sub>Brst</sub> (389 g/kWh<sub>Nutzenergie</sub>) angenommen [GEMIS, 2004]. Als Jahresnutzungsgrad für die Feuerung wurden 80 % angenommen. Der daraus resultierende Werte steht in Klammer.

### **11. Wärmeerzeugung und Fahrten**

Für die Wärmeerzeugung und für Fahrten werden die folgenden CO<sub>2</sub>-Äquivalent Werte angesetzt. Als Jahresnutzungsgrad für die Feuerung wurden 80 % angenommen. Die daraus resultierenden Werte stehen in Klammern.

- Hackgut 18,2 g/kWh<sub>Brst</sub> (20,8 g/kWh<sub>Nutzenergie</sub>) (6,2 g/kWh<sub>Brst</sub> [GEMIS, 2004] für die Vorkette+12 g/kWh<sub>Brst</sub> [eigenen Berechnung für Betriebsenergie])
- RME 1.109 g/Liter<sub>Kraftstoff</sub> (Nutzung im Zündstrahlmotor als Zündöl) [LBS, 2006]  
Der Wert errechnet sich aus 61 g CO<sub>2</sub>-Äquivalent/km\*100 km / 5,5 Liter/km. Im Vergleich zu [GEMIS, 2004] liegt dieser Wert zwischen dem Modell *RME* mit 2.159 g/Liter und dem Modell *RME+Gutschrift* (Gutschrift durch Koppelprodukte) mit 609 g/Liter.
- Diesel-LKW 778 g CO<sub>2</sub>/km  
Der Wert errechnet sich aus 3.110 g/Liter<sub>Kraftstoff</sub> nach [GEMIS, 2004] und dem angenommenen Verbrauch von 25 Liter/100 km.
- Kohle wird mit 446 g/kWh<sub>Brst</sub> (557 g/kWh<sub>Nutzenergie</sub>) bewertet. Der Wert ergibt sich als Mittelwert aus Heizwerten für Braunkohle und Steinkohle und Daten aus [GEMIS, 2004].

### **12. Gutschrift Stromerzeugung**

Für die Stromerzeugung wird der CO<sub>2</sub>-Äquivalent Wert von 625 g/kWh<sub>el</sub> (deutscher Strommix) nach [GEMIS, 2007] verwendet.



## SUBSTRAT

	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Energiegehalt im Substrat</b>					
Milchviehgülle	194.059	88.209	246.984	0	kWh
Maissilage	0	1.970.998	5.871.603	7.980.138	kWh
Grassilage	2.016.255	0	0	0	kWh
Getreide-Ganzpflanzensilage mittlerer Körneranteil	0	607.615	1.721.575	708.884	kWh
Getreidekörner (Triticale) Methanausgleich für nicht Abdeckung	818.466	360.181	1.494.987	639.684	kWh
Summe	3.028.780	3.027.002	9.335.149	9.328.706	kWh
<b>Stickstoffbilanz im Substrat</b>					
Stickstoff im Gärrest Milchviehgülle	2.744	1.220	3.380	0	kg <sub>N</sub>
Stickstoff im Gärrest Maissilage	0	5.275	15.546	20.341	kg <sub>N</sub>
Stickstoff im Gärrest Grassilage	6.954	0	0	0	kg <sub>N</sub>
Stickstoff im Gärrest Getreide-Ganzpflanzensilage mittlerer Körneranteil	0	1.303	3.651	1.447	kg <sub>N</sub>
Stickstoff im Gärrest Getreidekörner (Triticale)					
Methanausgleich für nicht Abdeckung	2.356	1.014	4.164	1.715	kg <sub>N</sub>
Summe	12	9	27	24	t <sub>N</sub> /a
	3,8	3,1	3,2	3,3	g <sub>N</sub> /kg <sub>FM</sub>

Tabelle 13-76: Daten zur Berechnung der Emissionen der Referenzbiogasanlagen, Substrate

Substrat	t <sub>TM</sub> /ha	TM Gehalt in %	t <sub>FM</sub> /ha
Milchviehgülle	0	9%	
Maissilage	14,85	33%	45,0
Grassilage	10,36	40%	25,9
Getreide-Ganzpflanzensilage mittlerer Körneranteil	13,24	40%	33,1
Getreidekörner (Triticale)	7,569	87%	8,7

Tabelle 13-77: Substrate

Anbaufläche und Hintergrundlachsmissionen	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Grünland ha	69,5	0,0	0,0	0,0	ha
Ackerland ha	30,8	77,2	243,3	229,7	ha
Grünland ha	0,8	kg N <sub>2</sub> O/ha*a; IE, Ökologische Analyse einer Biogasnutzung... 2006, S 28			
Ackerland ha	0,7	kg N <sub>2</sub> O/ha*a; IE, Ökologische Analyse einer Biogasnutzung... 2006, S 28			
N <sub>2</sub> O Emissionen Grünland	55,6	0,0	0,0	0,0	kg N <sub>2</sub> O/a
N <sub>2</sub> O Emissionen Ackerland	21,5	54,1	170,3	160,8	kg N <sub>2</sub> O/a
<b>Summe Hintergrundlachsmissionen</b>	<b>77,1</b>	<b>54,1</b>	<b>170,3</b>	<b>160,8</b>	<b>kg N<sub>2</sub>O/a</b>
<b>Summe Hintergrundlachsmissionen</b>	<b>22,84</b>	<b>16,00</b>	<b>50,41</b>	<b>47,58</b>	<b>t CO<sub>2</sub> Äq</b>

Tabelle 13-78: Hintergrundlachsmissionen

**CO<sub>2</sub>-ÄQUIVALENTE EMISSIONEN DURCH DEN BAU UND BETRIEB DER BIOGASANLAGE**

CO <sub>2</sub> -Äquivalent Emissionen durch den Betrieb	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
Milchviehgülle	1.757	799	2.237	0	t <sub>FH</sub> /a
Maissilage	0	2.050	6.107	8.300	t <sub>FH</sub> /a
Grassilage	1.800	0	0	0	t <sub>FH</sub> /a
Getreide-Ganzpflanzensilage mittlerer Körneranteil	0	600	1.700	700	t <sub>FH</sub> /a
Getreidekörner (Triticale) Methanausgleich für nicht Abdeckung	268	118	489	209	t <sub>FH</sub> /a
Gasproduktion	583.612	598.059	1.844.409	1.846.559	Nm <sup>3</sup> /a
davon Gas aus Gülle	35.496	16.135	45.177	0	Nm <sup>3</sup> /a
Methangehalt	55,0%	53,6%	53,6%	53,5%	
Methan wird durch Verbrennung im Motor zu CO <sub>2</sub> (regenerativ)	231	231	712	711	t/a
Kohlendioxidgehalt	43,0%	44,4%	44,4%	44,5%	
Kohlendioxid regenerativ	497	526	1.621	1.627	t/a
<b>1. Bau und Betrieb</b>					
Fermenterbau für Feuchtgut	0,29	g/kWh			
Fermenterbau für Feuchtgut	0,88	0,88	5,41	5,41	t CO <sub>2</sub> Äq
Zukauf Eigenstrombedarf 5%	32	32	108	108	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>2. Substratanbau und Bereitstellung</b>					
1.) Gemis Feuchtgut	37,46	g/kWh Substrat	ohne Lachgas		
113		117	361	370	t CO <sub>2</sub> Äq
2.) Auskunft Herr Berenz	150	g/kWh <sub>el</sub>	ohne Lachgas		
162		168	564	578	t CO <sub>2</sub> Äq
3.) Naw aRo-Anlagen (BGW) Anbau+Betrieb	0,5	kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	ohne Lachgas		
160		165	511	524	t CO <sub>2</sub> Äq
4.) Plöchl Anbau	120	g/kWh <sub>el</sub>	ohne Lachgas		
130		135	451	463	t CO <sub>2</sub> Äq
Werte ohne Lachgas aus der Gärrestausrückführung bzw. Stickstoffdüngung. Diese Werte werden in 7. Ausbringung Gärrest berücksichtigt					
Mittelwert	137	142	136	140	g/kWh <sub>el,real</sub>
<b>Mittelwert 1. bis. 4. Substratanbau und Bereitstellung</b>	141	146	472	484	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>Hintergrundlachgasemissionen nach Tabelle ...</b>	23	16	50	48	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>3. Gasverlust durch Folie (Gaslagerung)</b>	0,1%	FNR Leitfaden			
Methan	321	321	989	988	Nm <sup>3</sup> /a
0,2		0,2	0,7	0,7	t/a
<b>Gasverlust durch Folie</b>	5	5	16	16	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>4. Gasfreisetzung bei Motorstillstand ohne Fackel</b>	7	d/a			
<b>Gasverlust durch Überdruck</b>	116	116	359	358	t CO <sub>2</sub> Äq
prozentualer Gasverlust	1,9%	1,9%	1,9%	1,9%	
<b>5. Methanschlupf bei der Verbrennung im Motor</b>					
Methanschlupf Motor bei 4%	9	9	28	28	t/a
Abgasmenge	1.084	1.084	2.067	2.067	
Methanschlupf Motor bei 1 g/m <sup>3</sup> Abgas	8	8	16	16	t/a
<b>Methanschlupf Motor</b>	187	187	357	357	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>6. Endlager ohne Abdeckung (Restgaspotenzial)</b>	15	15	27	27	m Durchmes
6.1. Endlager ohne Abdeckung-Ammoniak	391	mg/m <sup>2</sup> h			
0,61		0,61	1,96	1,96	t CO <sub>2</sub> Äq
2%		2%	2%	3%	
6.2. Endlager ohne Abdeckung-Methan					
Methan, nachträglicher Abbau in % der der Gesamtproduktion	5%	FNR, Ergebnisse des Biogas-Messprogramms, 2005 BMP19 und BMP 25			
12		12	36	36	t Methan/a
266		265	819	818	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>7. Ausbringung der Gärreste</b>					
Ammoniak		Leitfaden Biogas FNR			
Ammoniumanteil (FNR) 60%	7,23	5,29	16,04	14,10	t NH <sub>3</sub> +
NH <sub>3</sub> (FNR) 25% des NH <sub>3</sub> +	1,81	1,32	4,01	3,53	t/a
<b>7.1. Ausbringung der Gärreste-Basis Ammoniak</b>	5,4	3,9	11,9	10,4	t CO <sub>2</sub> Äq
Lachgas	1,25%	IE, Ökologische Analyse einer Biogasnutzung... 2006, S 28			
0,15		0,11	0,33	0,29	t N <sub>2</sub> O/a
<b>7.2. Ausbringung der Gärreste-Basis Lachgas</b>	45	33	99	87	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>Emissionen</b>					
<b>Summe ohne Fackel und ohne Endlagerabdeckung</b>	822	806	2.299	2.294	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>Summe mit Fackel und Endlagerabdeckung</b>	439	424	1.119	1.115	t CO <sub>2</sub> Äq
Summe bei Anlage mit Fackel und Endlagerabdeckung aber ohne Strombezug	407	392	1.011	1.007	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>Emissionen</b>					
<b>Summe ohne Fackel und ohne Endlagerabdeckung</b>	799	784	664	663	g/kWh <sub>el</sub>
<b>Summe mit Fackel, mit Endlagerabdeckung</b>	427	412	324	323	g/kWh <sub>el</sub>

Tabelle 13-79: CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen der Referenzbiogasanlagen

CO<sub>2</sub>-ÄQUIVALENTE GUTSCHRIFTEN DURCH DEN BETRIEB DER BIOGASANLAGE

8. Gutschrift Mineraldüngersersatz					
Anteil Gärrest	70%				
	7,595	kg CO <sub>2</sub> /kg N			
<b>Gutschrift Mineraldüngersersatz</b>	<b>-64</b>		<b>-47</b>	<b>-142</b>	<b>-125</b> t CO <sub>2</sub> Äq
9. Gutschrift Minderung Methan gegenüber Gülle					
Methangasminderung gegenüber Ausbringung	78%	nach Clemens 2003			
	-252		-112	-313	0 t CO <sub>2</sub> Äq
10. Gutschrift Abwärmenutzung Gebäude					
	-15		-15	-24	-24 t CO <sub>2</sub> Äq
11. Gutschrift Stromerzeugung					
Stromerzeugung	-643		-643	-2.162	-2.161 t CO <sub>2</sub> Äq
<b>Summe Gutschrift</b>	<b>-974</b>		<b>-816</b>	<b>-2.641</b>	<b>-2.310</b> t CO <sub>2</sub> Äq

Tabelle 13-80: CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Gutschriften bei den ReferenzbiogasanlagenCO<sub>2</sub>-ÄQUIVALENT EINSPARUNG im VERGLEICH ZUR KONVENTIONELLEN ENERGIEERZEUGUNG

	Anlage 1, 150 kW <sub>el</sub> Milchvieh 110 GV	Anlage 2, 150 kW <sub>el</sub> Ackerbau 50 GV	Anlage 3, 500 kW <sub>el</sub> Ackerbau 140 GV	Anlage 4, 500 kW <sub>el</sub> reiner Ackerbau	
<b>Summe ohne Fackel und ohne Endlagerabdeckung</b>	<b>153</b>	<b>10</b>	<b>343</b>	<b>16</b>	<b>16</b> t CO <sub>2</sub> Äq
<b>Summe mit Fackel, Endlagerabdeckung und Gasverwertung im Motor</b>	<b>535</b>	<b>392</b>	<b>1.522</b>	<b>1.195</b>	<b>1.195</b> t CO <sub>2</sub> Äq
Mittelwert der CO <sub>2</sub> -Einsparung	464		1.358		t CO <sub>2</sub> Äq
<b>Summe ohne Fackel und ohne Endlagerabdeckung</b>	<b>148</b>	<b>10</b>	<b>99</b>	<b>5</b>	<b>5</b> g/kWh <sub>el</sub>
<b>Summe mit Fackel, Endlagerabdeckung und Gasverwertung im Motor</b>	<b>520</b>	<b>382</b>	<b>440</b>	<b>346</b>	<b>346</b> g/kWh <sub>el</sub>
CO <sub>2</sub> -Emissionen bei konventioneller Produktion der Energie					
Wärmeerzeugung (Gebäude)	15	15	24	24	t CO <sub>2</sub> Äq
Stromerzeugung	643	643	2.162	2.161	t CO <sub>2</sub> Äq
<b>Summe bei konventioneller Produktion der Energie</b>	<b>658</b>	<b>658</b>	<b>2.186</b>	<b>2.185</b>	<b>2.185</b> t CO <sub>2</sub> Äq

Tabelle 13-81: CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Einsparung im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung

Zusammenfassung der Emissionen und Gutschriften					
1. Bau und Betrieb	33	33	114	113	t CO <sub>2</sub> Äq
2. Substratanbau und Bereitstellung	163,9	162,2	522,0	531,4	t CO <sub>2</sub> Äq
3. Gasverlust durch Folie (Gaslagerung)	5,3	5,3	16,4	16,4	t CO <sub>2</sub> Äq
4. Gasfreisetzung bei Motorstillstand ohne Fackel	116,4	116,3	358,7	358,4	t CO <sub>2</sub> Äq
5. Methanschlupf bei der Verbrennung im Motor	187,0	187,0	356,6	356,6	t CO <sub>2</sub> Äq
6. Endlager ohne Abdeckung (Restgaspotenzial) für Methan 5%	266,2	266,0	820,5	819,9	t CO <sub>2</sub> Äq
7. Ausbringung der Gärreste	49,9	36,5	110,8	97,4	t CO <sub>2</sub> Äq
8. Gutschrift Mineraldüngersersatz	-64,1	-46,9	-142,2	-125,0	t CO <sub>2</sub> Äq
9. Gutschrift Minderung Methan gegenüber Gülle	-252,0	-111,7	-312,8	0,0	t CO <sub>2</sub> Äq
10. Gutschrift Abwärmenutzung Gebäude	-15,2	-15,2	-24,4	-24,4	t CO <sub>2</sub> Äq
11. Gutschrift Stromerzeugung	-643,0	-642,6	-2.162,0	-2.160,5	t CO <sub>2</sub> Äq
Summe	-152,6	-10,1	-342,8	-16,3	t CO <sub>2</sub> Äq

Tabelle 13-82: CO<sub>2</sub>-Äquivalent Anteile Einsparungen und Gutschriften der Referenzbiogasanlagen

## **13.10 Bilanzen zu Biogasreferenzanlagen und Varianten**

\* Gesamtanlage inkl. Biogasanlage, alle anderen nur Wärmenutzungsvariante

\*\* Differenzwerte der Gesamtanlage gegenüber Referenzanlage

Wärmenutzungsvariante	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
	Investitionen		Barwert-Restwert		Gewinnannuität		Annuität Investition und In		Rentabilität		Annuität der Kosten	
			BW		GA		AI		BW/GA		AK	
*Referenzbiogasanlage	570.000	1.550.000	598.752	1.631.810	3.980	44.805	69.026	185.984	0,7%	2,7%	188.643	552.033
Holz hackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner	26.190	102.187	25.977	100.523	11.215	90.210	2.659	10.070	43,2%	89,7%	14.613	43.529
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	41.526	68.421	41.475	70.002	6.535	30.686	3.993	6.812	15,8%	43,8%	8.712	12.705
Getreidetrocknung Schubw endetrockner		102.976		101.807		52.300		10.283		51,4%		17.384
Getreidetrocknung Wagentrockner	18.939	40.100	21.397	48.843	7.418	30.422	2.052	4.725	34,7%	62,3%	7.462	12.969
Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandrockner	356.965	608.547	396.897	684.864	-7.443	73.061	40.029	68.208	-1,9%	10,7%	67.682	104.566
Klärschlamm Trocknung Warmluft-Hallentrocknung	293.540	387.739	358.811	472.026	-15.462	71.072	32.155	43.075	-4,3%	15,1%	65.179	81.893
Klärschlamm Trocknung Bandrockner	337.038	528.665	408.177	644.989	-23.855	47.262	37.485	58.817	-5,8%	7,3%	73.572	105.702
Beheizung Ferkelaufzucht	55.110	63.250	46.442	53.639	1.398	8.029	4.831	5.577	3,0%	15,0%	5.456	6.234
Gewächshausbeheizung	61.640	70.382	51.947	59.191	19.348	75.791	5.418	6.155	37,2%	128,0%	7.275	8.925
Nahwärmeverversorgung mit Pufferspeicher	294.651	787.974	273.451	724.373	10.744	38.608	17.634	44.589	3,9%	5,3%	20.851	53.727
Nahwärmeverversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	810.783	2.191.825	750.135	2.020.712	1.346	18.246	56.235	149.808	0,2%	0,9%	74.705	201.080
mobiler Zeolithspeicher heizen	226.616	230.585	336.241	341.347	-23.608	11.077	32.121	32.587	-7,0%	3,2%	42.870	49.290
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	226.616	230.585	336.241	341.347	-17.079	30.842	32.121	32.587	-5,1%	9,0%	42.870	49.290
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	226.616	230.585	336.241	341.347	-30.981	-10.936	32.121	32.587	-9,2%	-3,2%	42.716	48.920
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Transheat	339.600	339.600	483.489	483.489	-10.199	62.730	45.720	45.720	-2,1%	13,0%	58.844	74.060
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Schneider	276.000	276.000	399.834	399.834	-3.254	47.880	38.151	38.151	-0,8%	12,0%	51.899	64.591
Wärme- und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	248.006	309.838	223.872	290.044	11.745	55.885	21.637	28.436	5,2%	19,3%	25.998	37.024
Wärme- und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	248.006	309.838	223.872	290.044	-2.749	21.107	21.637	28.436	-1,2%	7,3%	24.583	34.050
Wärme- und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	256.501	331.683	234.633	317.716	13.405	69.011	22.868	31.603	5,7%	21,7%	32.082	50.201
Wärme- und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	258.327	324.435	235.694	310.077	-1.737	28.423	22.854	30.927	-0,7%	9,2%	39.672	65.579
Wärme- und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung		377.708		372.558		27.578		36.901		7,4%		43.611
ORC-Nachverstromung Vergütung 1		350.000		378.482		6.970		47.512		1,8%		59.259
ORC-Nachverstromung Vergütung 2		350.000		378.482		75.970		47.512		20,1%		59.259
ORC-Nachverstromung Vergütung 3		350.000		378.482		44.020		47.512		11,6%		59.259
**Biogasanlage, Biogasleitung und zwei BHKW	276.163	351.412	266.632	351.700	8.431	90.875	25.983	35.388	3,2%	25,8%	33.194	50.705
**Biogasanlage, Biogasleitung und Holz hackschnitzelkessel	284.963	317.620	277.711	317.620	7.106	91.734	27.107	31.389	2,6%	28,9%	45.653	71.317

Tabelle 13-83: Daten zur Wirtschaftlichkeitsbeurteilung der der Varianten. Jeweils Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und der zwei 500 kW<sub>el</sub> Anlagen. Die dargestellten Werte sind auf die Variante bezogen, mit Ausnahme der Referenzanlage. Für den Zündstrahlmotor und die Varianten mit Biogasleitungen sind die Differenzwerte zur Referenzanlage dargestellt.

Gesamtanlage	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
	Investitionen		Barwert-Restwert		Gewinnannuität		Annuität Investition und In		Rentabilität	
gereiht nach Inhaltsangabe Studie			BW		GA		AI		BW/GA	
Referenzbiogasanlage	570.000	1.550.000	598.752	1.631.810	3.980	44.805	69.026	185.984	0,7%	2,7%
Holz hackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner	596.190	1.652.187	624.729	1.732.334	15.196	135.015	71.686	196.054	2,4%	7,8%
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	611.526	1.618.421	640.227	1.701.813	10.515	75.491	73.020	192.796	1,6%	4,4%
Getreidetrocknung Schubw endetrockner		1.652.976	598.752	1.733.617		97.105	69.026	196.266		5,6%
Getreidetrocknung Wagentrockner	588.939	1.590.100	620.149	1.680.654	11.398	75.227	71.078	190.708	1,8%	4,5%
Heil- und Gew ürzpflanzentrocknung Bandtrockner	926.965	2.158.547	995.649	2.316.674	-3.463	117.866	109.055	254.191	-0,3%	5,1%
Klärschlamm-trocknung Warmluft-Hallentrocknung	863.540	1.937.739	957.563	2.103.836	-11.481	115.877	101.181	229.058	-1,2%	5,5%
Klärschlamm-trocknung Bandtrockner	907.038	2.078.665	1.006.929	2.276.799	-19.875	92.067	106.511	244.801	-2,0%	4,0%
Beheizung Ferkelaufzucht	625.110	1.613.250	645.193	1.685.449	5.378	52.834	73.857	191.561	0,8%	3,1%
Gew ächshausbeheizung	631.640	1.620.382	650.699	1.691.001	23.328	120.596	74.444	192.139	3,6%	7,1%
Nahw ärmeversorgung mit Pufferspeicher	864.651	2.337.974	872.203	2.356.184	14.725	83.413	86.660	230.573	1,7%	3,5%
Nahw ärmeversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	1.380.783	3.741.825	1.348.887	3.652.522	5.327	63.051	125.261	335.792	0,4%	1,7%
mobiler Zeolithspeicher heizen	796.616	1.780.585	934.992	1.973.158	-19.628	55.882	101.147	218.571	-2,1%	2,8%
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	796.616	1.780.585	934.992	1.973.158	-13.099	75.647	101.147	218.571	-1,4%	3,8%
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	796.616	1.780.585	934.992	1.973.158	-27.001	33.869	101.147	218.571	-2,9%	1,7%
mobiler Latentw ärmespeicher (NaAc) Transheat	909.600	1.889.600	1.082.241	2.115.299	-6.219	107.535	114.746	231.704	-0,6%	5,1%
mobiler Latentw ärmespeicher (NaAc) Schneider	846.000	1.826.000	998.586	2.031.644	726	92.685	107.178	224.135	0,1%	4,6%
Wärme-und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	818.006	1.859.838	822.624	1.921.854	15.725	100.690	90.663	214.420	1,9%	5,2%
Wärme-und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	818.006	1.859.838	822.624	1.921.854	1.232	65.912	90.663	214.420	0,1%	3,4%
Wärme-und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	826.501	1.881.683	833.385	1.949.526	17.385	113.816	91.895	217.587	2,1%	5,8%
Wärme-und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	828.327	1.874.435	834.446	1.941.888	2.243	73.228	91.880	216.910	0,3%	3,8%
Wärme-und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung		1.927.708	598.752	2.004.368		72.383	69.026	222.885		3,6%
ORC-Nachverstromung Vergütung 1		1.900.000	598.752	2.010.292		51.775	69.026	233.495		2,6%
ORC-Nachverstromung Vergütung 2		1.900.000	598.752	2.010.292		120.775	69.026	233.495		6,0%
ORC-Nachverstromung Vergütung 3		1.900.000	598.752	2.010.292		88.825	69.026	233.495		4,4%
Biogasanlage, Biogasleitung und zw ei BHKW	846.163	1.901.412	865.383	1.983.511	12.411	135.680	95.010	221.371	1,4%	6,8%
Biogasanlage, Biogasleitung und Holz hackschnitzelkessel	854.963	1.867.620	876.463	1.949.431	11.086	136.539	96.134	217.373	1,3%	7,0%

Tabelle 13-84: Daten zur Wirtschaftlichkeitsbeurteilung der der Gesamtanlage. Jeweils Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und der zwei 500 kW<sub>el</sub> Anlagen. Die dargestellten Werte sind alle auf die Gesamtanlage bezogen.

Stromerzeugung der Gesamtanlage	BHKW Strom netto		Strom zusätzlich brutto	
	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante)	MWh <sub>el</sub>	MWh <sub>el</sub>	MWh <sub>el</sub>	MWh <sub>el</sub>
Referenzbiogasanlage	977	3.285	0	0
Holz hackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner	945	3.151	0	0
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	973	3.273	0	0
Getreidetrocknung Schubw endetrockner		3.269	0	0
Getreidetrocknung Wagentrockner	973	3.274	0	0
Heil- und Gew ürzpflanzentrocknung Bandrockner	949	3.238	0	0
Klärschlammrocknung Warmluft-Hallentrocknung	946	3.206	0	0
Klärschlammrocknung Bandrockner	887	3.105	0	0
Beheizung Ferkelaufzucht	975	3.283	0	0
Gew ächshausbeheizung	969	3.269	0	0
Nahw ärmeversorgung mit Pufferspeicher	968	3.252	0	0
Nahw ärmeversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	875	2.983	0	0
mobiler Zeolithspeicher heizen	940	3.225	0	0
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	940	3.225	0	0
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	940	3.225	0	0
mobiler Latentw ärmespeicher (NaAc) Transheat	958	3.248	0	0
mobiler Latentw ärmespeicher (NaAc) Schneider	958	3.248	0	0
Wärme- und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	970	3.266	0	0
Wärme- und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	973	3.274	0	0
Wärme- und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	946	3.206	0	0
Wärme- und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	914	3.120	0	0
Wärme- und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung		3.272	0	0
ORC-Nachverstromung		3.599	0	374
Biogasanlage, Biogasleitung und zwei BHKW	919	3.187	0	0
Biogasanlage, Biogasleitung und Holz hackschnitzelkessel	957	3.216	0	0

Tabelle 13-85: Stromerzeugung der Gesamtanlage

Energiebilanz Basis Brennstoffenergie	Brennstoffwärme		elektrische Energie BHKW bru		Fermenter 150 kW <sub>el</sub> und 500 kW <sub>el</sub>	Gebäude 150 kW <sub>el</sub> und 500 kW <sub>el</sub>	weitere genutzte Abwärme		Abwärmepotenzial		nicht nutzbare Energieverluste		fixe Abgasverluste 150 kW <sub>el</sub> und 500 kW <sub>el</sub>	Brennstoffnutzungsgrad		
	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>			150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>		150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>
gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante)	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
gereiht nach Inhaltsangabe Studie	MWh	MWh														
Referenzbiogasanlage	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	0%	0%	36%	35%	15%	14%	8%	42%	43%	
Holzackschnitzzellrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	18%	26%	18%	9%	15%	14%	8%	60%	69%	
Getreidetrocknung Dächerschachtrockner	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	4%	3%	32%	32%	15%	14%	8%	46%	46%	
Getreidetrocknung Schubw endetrockner		9.606		36%	6%	1%		5%		30%		14%	8%		48%	
Getreidetrocknung Wagetrockner	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	3%	3%	33%	32%	15%	14%	8%	45%	46%	
Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandrockner	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	11%	11%	25%	24%	15%	14%	8%	53%	54%	
Klärschlammrocknung Warmluft-Hallentrocknung	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	27%	26%	9%	9%	15%	14%	8%	69%	69%	
Klärschlammrocknung Bandrockner	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	27%	26%	9%	9%	15%	14%	8%	69%	69%	
Beheizung Ferkelaufzucht	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	4%	2%	33%	33%	15%	14%	8%	45%	45%	
Gewächshausbeheizung	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	15%	15%	22%	20%	15%	14%	8%	56%	58%	
Nahwärmerversorgung mit Pufferspeicher	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	11%	10%	25%	25%	15%	14%	8%	53%	53%	
Nahwärmerversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	27%	24%	10%	11%	15%	14%	8%	68%	67%	
mobiler Zeolithspeicher heizen	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	9%	8%	28%	27%	15%	14%	8%	50%	51%	
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	12%	12%	24%	23%	15%	14%	8%	54%	55%	
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	4%	4%	32%	31%	15%	14%	8%	46%	47%	
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Transheat	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	21%	19%	15%	16%	15%	14%	8%	63%	62%	
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Schneider	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	21%	16%	15%	19%	15%	14%	8%	63%	59%	
Wärme- und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	17%	15%	19%	20%	15%	14%	8%	59%	58%	
Wärme- und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	9%	8%	27%	27%	15%	14%	8%	51%	51%	
Wärme- und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	21%	18%	15%	17%	15%	14%	8%	63%	61%	
Wärme- und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	3.117	9.606	33%	36%	7%	1%	16%	13%	21%	22%	15%	14%	8%	57%	56%	
Wärme- und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung		9.606		36%	6%	1%		9%		26%		14%	8%		52%	
ORC-Nachverstromung		9.606		36%	6%	1%		22%		13%		14%	8%		65%	
Biogasanlage, Biogasleitung und zwei BHKW	3.117	9.606	32%	35%	7%	1%	29%	27%	9%	8%	16%	15%	7%	69%	70%	
Biogasanlage, Biogasleitung und Holzackschnitzelkessel	3.487	10.530	29%	33%	6%	1%	26%	28%	15%	14%	15%	16%	6%	70%	71%	

Tabelle 13-86: Wärmebilanzdaten der Gesamtanlage auf Basis Brennstoffenergie. Aus Platzgründen wurden für den Fermenter, Gebäude und Abgasverluste Mittelwert der 150 kW<sub>el</sub> und 500 kW<sub>el</sub> Anlage angegeben. Beide Werte sind in diesen Gruppen jeweils nahezu identisch.



Energiebilanz Basis Brennstoffenergie - elektrische Energie	Brst.-Energie - elektrische Ene		Fermenterbeheizung		Gebäudebeheizung		weitere genutzte Abw ärme		Abw ärmpotenzial		nicht nutzbare Energieverluste	
	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante)												
gereiht nach Inhaltsangabe Studie	MWh	MWh										
Referenzbiogasanlage	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	0%	0%	54%	55%	22%	22%
Holz hackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	27%	41%	27%	14%	22%	22%
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	6%	5%	48%	50%	22%	22%
Getreidetrocknung Schubw endetrockner		6.148		10%		1%		7%		48%		22%
Getreidetrocknung Wagentrockner	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	5%	5%	49%	50%	22%	22%
Heil- und Gew ürzpflanzentrocknung Bandrockner	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	17%	17%	38%	38%	22%	22%
Klärschlamm-trocknung Warmluft- Hallentrocknung	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	41%	41%	14%	14%	22%	22%
Klärschlamm-trocknung Bandrockner	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	41%	41%	14%	14%	22%	22%
Beheizung Ferkelaufzucht	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	6%	4%	49%	51%	22%	22%
Gew ächshausbeheizung	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	22%	23%	32%	32%	22%	22%
Nahw ärmeversorgung mit Pufferspeicher	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	16%	16%	38%	39%	22%	22%
Nahw ärmeversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	40%	38%	15%	17%	22%	22%
mobiler Zeolithspeicher heizen	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	13%	13%	42%	42%	22%	22%
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	18%	19%	36%	36%	22%	22%
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	6%	7%	48%	48%	22%	22%
mobiler Latentw ärmespeicher (NaAc) Transheat	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	32%	30%	22%	25%	22%	22%
mobiler Latentw ärmespeicher (NaAc) Schneider	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	32%	24%	22%	30%	22%	22%
Wärme- und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	26%	23%	28%	32%	22%	22%
Wärme- und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	14%	12%	41%	43%	22%	22%
Wärme- und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	32%	28%	22%	26%	22%	22%
Wärme- und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	2.088	6.148	11%	10%	2%	1%	23%	20%	31%	34%	22%	22%
Wärme- und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung		6.148		10%		1%		14%		40%		22%
ORC-Nachverstromung		6.148		10%		1%		35%		20%		22%
Biogasanlage, Biogasleitung und zw ei BHKW	2.133	6.201	10%	10%	2%	1%	42%	42%	12%	13%	24%	24%
Biogasanlage, Biogasleitung und Holz hackschnitzelkessel	2.458	7.072	9%	8%	2%	1%	37%	38%	22%	20%	21%	23%

Tabelle 13-87: Wärmebilanzdaten der Gesamtanlage auf Basis Brennstoffenergie minus elektrische Energie

Energiebilanz Basis nutzbare Abwärme	nutzbare Abwärme		Fermenterbeheizung		Gebäudebeheizung (Brst)		weitere genutzte Abwärme		Abwärmepotenzial der Varianten		fixe Abgasverluste	
	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante)	1.630	4.777										
gereiht nach Inhaltsangabe Studie	MWh	MWh										
Referenzbiogasanlage	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%			69%	70%	14%	16%
Holz hackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	35%	53%	35%	18%	14%	16%
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	8%	6%	62%	64%	14%	16%
Getreidetrocknung Schubw endetrockner	0	4.777		12%		2%				9%	61%	16%
Getreidetrocknung Wagetrockner	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	6%	6%	63%	64%	14%	16%
Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandrockner	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	21%	21%	48%	49%	14%	16%
Klärschlamm-trocknung Warmluft-Hallentrocknung	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	52%	53%	17%	18%	14%	16%
Klärschlamm-trocknung Bandrockner	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	52%	53%	17%	18%	14%	16%
Beheizung Ferkelaufzucht	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	7%	5%	62%	65%	14%	16%
Gewächshausbeheizung	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	28%	30%	41%	41%	14%	16%
Nahwärmeverversorgung mit Pufferspeicher	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	21%	21%	48%	50%	14%	16%
Nahwärmeverversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	51%	49%	19%	22%	14%	16%
mobiler Zeolithspeicher heizen	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	16%	17%	53%	53%	14%	16%
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	23%	24%	46%	46%	14%	16%
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	8%	9%	61%	62%	14%	16%
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Transheat	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	41%	38%	28%	32%	14%	16%
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Schneider	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	41%	31%	28%	39%	14%	16%
Wärme- und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	33%	30%	36%	41%	14%	16%
Wärme- und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	17%	15%	52%	55%	14%	16%
Wärme- und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	41%	36%	29%	34%	14%	16%
Wärme- und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	1.630	4.777	14%	12%	3%	2%	30%	26%	40%	44%	14%	16%
Wärme- und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung	0	4.777		12%		2%			18%		52%	16%
ORC-Nachverstromung	0	4.777		12%		2%			45%		26%	16%
Biogasanlage, Biogasleitung und zwei BHKW	1.627	4.723	14%	13%	3%	2%	55%	56%	16%	17%	12%	13%
Biogasanlage, Biogasleitung und Holz hackschnitzelkessel	1.936	5.435	11%	11%	3%	1%	47%	49%	28%	27%	12%	12%

Tabelle 13-88: Wärmebilanzdaten der Gesamtanlage auf Basis nutzbare Abwärme  
nutzbare Abwärme ... BHKW-Abwärme inklusive Fermenter-, Gebäudebeheizung und Abgasverluste

Energiebilanz Basis Abwärmepotenzial	Abwärmepotenzial Referenzanlage		davon nun genutzte Abwärme		Abwärmepotenzial Variante		Anteil am Abwärmepotenzial	
	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante)								
gereiht nach Inhaltsangabe Studie	MWh	MWh						
Referenzbiogasanlage	1.133	3.360	0	0	1.133	3.360	0%	0%
Holzhackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner	1.133	3.360	566	2.520	566	840	50%	75%
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	1.133	3.360	125	293	1.008	3.067	11%	9%
Getreidetrocknung Schubw endetrockner		3.360		439	0	2.920		13%
Getreidetrocknung Wagentrockner	1.133	3.360	100	293	1.032	3.067	9%	9%
Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandtrockner	1.133	3.360	348	1.019	785	2.340	31%	30%
Klärschlamm-trocknung Warmluft-Hallentrocknung	1.133	3.360	849	2.520	283	840	75%	75%
Klärschlamm-trocknung Bandtrockner	1.133	3.360	849	2.520	283	840	75%	75%
Beheizung Ferkelaufzucht	1.133	3.360	119	238	1.014	3.122	11%	7%
Gewächshausbeheizung	1.133	3.360	462	1.414	670	1.946	41%	42%
Nahwärmeversorgung mit Pufferspeicher	1.133	3.360	344	980	789	2.380	30%	29%
Nahwärmeversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	1.133	3.360	828	2.328	305	1.031	73%	69%
mobiler Zeolithspeicher heizen	1.133	3.360	265	805	867	2.555	23%	24%
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	1.133	3.360	378	1.148	754	2.212	33%	34%
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	1.133	3.360	135	417	998	2.943	12%	12%
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Transheat	1.133	3.360	670	1.824	463	1.536	59%	54%
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Schneider	1.133	3.360	670	1.500	463	1.860	59%	45%
Wärme- und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	1.133	3.360	541	1.414	592	1.945	48%	42%
Wärme- und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	1.133	3.360	283	740	850	2.620	25%	22%
Wärme- und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	1.133	3.360	666	1.742	467	1.618	59%	52%
Wärme- und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	1.133	3.360	484	1.252	649	2.108	43%	37%
Wärme- und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung		3.360		880	0	2.480		26%
ORC-Nachverstromung		3.360		2.138	0	1.222		64%
Biogasanlage, Biogasleitung und zwei BHKW	1.158	3.413	891	2.631	267	782	77%	77%
Biogasanlage, Biogasleitung und Holzhackschnitzelkessel	1.443	4.135	906	2.688	537	1.447	63%	65%

Tabelle 13-89: Wärmebilanzdaten der Gesamtanlage auf Basis des Abwärmepotenzials

Abwärmepotenzial ... BHKW-Abwärme nach Abzug von Fermenter-, Gebäudebeheizung und Abgasverluste

CO <sub>2</sub> -Äq. Emissionen gesamte Anlage	Betrieb Summe bei Anlage mit		Gutschrift Wärme, Basis Heizd		Gutschrift Strom netto auf Bas		CO <sub>2</sub> -Äq Einsparung		CO <sub>2</sub> -Äq Einsparung / kWh <sub>el</sub> brutto		€eingesparte Menge CO <sub>2</sub>	
	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>
gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante)	t CO <sub>2</sub> /a	t CO <sub>2</sub> /a	t CO <sub>2</sub> /a	t CO <sub>2</sub> /a	t CO <sub>2</sub> /a	t CO <sub>2</sub> /a	t CO <sub>2</sub> /a (*-1)	t CO <sub>2</sub> /a (*-1)	g/kWh <sub>el</sub> brutto	g/kWh <sub>el</sub> brutto	€/eingesparte t <sub>CO2</sub>	(AK/CO <sub>2</sub> )
Referenzbiogasanlage	162	719	-15	-24	-611	-2.053	464	1.358	451	393	407	406
Holz hackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner	162	719	-236	-1.004	-591	-1.970	665	2.254	646	652	306	264
Getreidetrocknung Dächerschachttrockner	162	719	-68	-144	-608	-2.046	514	1.471	500	425	384	384
Getreidetrocknung Schubw endetrockner		719		-201		-2.043		1.525		441		373
Getreidetrocknung Wagentrockner	162	719	-59	-144	-608	-2.047	505	1.472	491	426	388	384
Heil- und Gew ürzpflanzentrocknung Bandrockner	162	719	-155	-427	-593	-2.024	586	1.731	570	501	437	379
Klärschlamm-trocknung Warmluft-Hallentrocknung	162	719	-138	-381	-591	-2.004	566	1.666	551	482	448	381
Klärschlamm-trocknung Bandrockner	162	719	-138	-381	-554	-1.941	530	1.603	515	463	495	410
Beheizung Ferkelaufzucht	162	719	-65	-123	-610	-2.052	513	1.456	499	421	379	384
Gew ächshausbeheizung	162	719	-199	-580	-606	-2.043	642	1.904	625	551	305	295
Nahw ärmeversorgung mit Pufferspeicher	162	719	-153	-412	-605	-2.033	596	1.725	579	499	352	351
Nahw ärmeversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	162	719	-341	-936	-547	-1.864	726	2.081	706	602	363	362
mobiler Zeolithspeicher heizen	163	722	-122	-343	-587	-2.016	546	1.637	531	473	424	367
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	163	722	-166	-477	-587	-2.016	590	1.770	574	512	392	340
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	163	722	-99	-285	-587	-2.016	523	1.578	509	456	442	381
mobiler Latentw ärmespeicher (NaAc) Transheat	166	730	-279	-740	-599	-2.030	712	2.040	693	590	347	307
mobiler Latentw ärmespeicher (NaAc) Schneider	166	729	-279	-614	-599	-2.030	712	1.914	692	554	338	322
Wärme- und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	162	719	-246	-622	-606	-2.041	690	1.944	671	562	311	303
Wärme- und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	162	719	-138	-341	-608	-2.046	584	1.668	568	482	365	351
Wärme- und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	162	719	-286	-727	-591	-2.004	715	2.012	695	582	309	299
Wärme- und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	162	719	-208	-522	-571	-1.950	617	1.752	600	507	370	352
Wärme- und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung		719		-449		-2.045		1.774		513		336
ORC-Nachverstromung		719		-24		-2.249		1.555		406		393
Biogasanlage, Biogasleitung und zwei BHKW	162	719	-367	-1.053	-575	-1.992	779	2.326	792	683	285	259
Biogasanlage, Biogasleitung und Holz hackschnitzelkessel	169	736	-372	-1.075	-598	-2.010	801	2.349	779	679	292	265

Tabelle 13-90: CO<sub>2</sub>-Äquivalent Einsparung der Biogasreferenzanlagen und der Varianten. Jeweils Mittelwert der zwei 150 kW<sub>el</sub> und der zwei 500 kW<sub>el</sub> Anlagen.

## Punktebewertung 1 -100 der Verbesserung gegenüber der Referenz

	gut y1	100																
	schlecht y2	1																
	Minimalwert x1	18.939	40.100	43%	128%	80%	80%	285	259	Zusatzjahr	Zusatzjahr					Punktesumme		
	Maximalwert x2	810.783	2.191.825	-9%	-3%	9%	7%	495	410	1,00	1,00	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	
		150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	150 kW <sub>el</sub>	500 kW <sub>el</sub>	
		Investitionshöhe	Rentabilität	Anteil am Abwärmepotenzial	€/eingesparte t <sub>CO2</sub> (AK/CO <sub>2</sub> )	Gewinnannuität negativ	Rentabilität geringer	Summe	Summe									
keine Wertung für Referenzbiogasanlage, da Verbesserung bewertet wird																		
Holz hackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubwendetrockner	99	97	100	71	58	93	90	97	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	347	358	
Getreidetrocknung Dächerschichtrockner	97	99	48	36	4	3	53	18	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	203	157	
Getreidetrocknung Schubwendetrockner	0	97	0	42	0	9	0	25	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein		174	
Getreidetrocknung Wagentrockner	100	100	84	50	1	3	51	18	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	236	172	
Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandrockner	58	74	15	11	31	33	28	21	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		139	
Klärschlamm-trocknung Warmluft-Hallentrocknung	66	84	10	15	93	93	23	21	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		213	
Klärschlamm-trocknung Bandrockner	60	78	7	9	93	93	1	1	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		181	
Beheizung Ferkelaufzucht	95	99	24	15	3	1	56	19	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	178	133	
Gewächshausbeheizung	95	99	89	100	nein	45	49	90	77	nein	nein	nein	nein	nein	nein	319	324	
Nahwärmerversorgung mit Pufferspeicher	66	66	26	7	31	31	68	40	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	191	144	
Nahwärmerversorgung mit saisonalem Speicher (Lockergestein)	1	1	19	4	90	85	63	33	nein	nein	ja	ja	ja	ja	nicht erfüllt	nicht erfüllt		
mobiler Zeolithspeicher heizen	74	91	5	6	21	24	34	29	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		150	
mobiler Zeolithspeicher heizen und trocknen	74	91	9	10	35	38	49	47	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		186	
mobiler Zeolithspeicher klimatisieren	74	91	1	1	5	8	26	20	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nicht erfüllt	nicht erfüllt		
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Transheat	60	86	14	13	71	65	70	89	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		233	
mobiler Latentwärmespeicher (NaAc) Schneider	68	89	17	12	71	52	75	59	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		212	
Wärme- und Kälteversorgung für 1 Gewerbeobjekt Grundlast	71	88	28	18	55	49	88	71	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nicht erfüllt	242	225	
Wärme- und Kälteversorgung für 2 Gewerbeobjekt Vollversorgung	71	88	16	9	23	21	62	40	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		157	
Wärme- und Kälteversorgung für 3 Molkerei Vollversorgung	70	87	29	20	70	62	89	74	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nicht erfüllt	258	242	
Wärme- und Kälteversorgung für 4 Lagerhaus Vollversorgung	70	87	17	10	48	42	60	39	ja	nein	ja	nein	nein	nein	nicht erfüllt		178	
Wärme- und Kälteversorgung für 5 Gewerbeobjekt Vollversorgung	0	84	0	9	0	27	0	50	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nicht erfüllt		170	
ORC-Nachverstromung Vergütung 1	0	86	0	5	0	78	0	12	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nicht erfüllt			
ORC-Nachverstromung Vergütung 2	0	86	0	19	0	78	0	12	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nicht erfüllt		194	
ORC-Nachverstromung Vergütung 3	0	86	0	12	0	78	0	12	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nicht erfüllt		188	
Biogasanlage, Biogasleitung und zwi BHKW	68	86	24	23	98	98	100	100	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nicht erfüllt	290	306	
Biogasanlage, Biogasleitung und Holz hackschnitzelkessel	67	87	23	25	100	100	96	96	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nicht erfüllt	286	308	

Tabelle 13-91: Bewertung der Varianten





