



Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen



Eine Studie über die Abwärmenutzung bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit einer Leistung von 150 und 500 kW_{el}

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

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

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_{el} und 500 kW_{el}. 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_{el} und 500 kW_{el}. Als reale Leistung werden 137 kW_{el} bzw. 461 kW_{el} 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 _{el} 187 kW _{th} | 1.136 MWh _{th} /a ca. 151 kW _{th} | Milchviehbetrieb mit 110 GV | 1.757 t _{FM} /a Gülle 2.068 t _{FM} /a NawaRo | 3.700 €/kW _{el} |
| Anlage 2 Ackerbau 50 GV | 137 kW _{el} 187 kW _{th} | 1.135 MWh _{th} /a ca. 151 kW _{th} | Ackerbaubetrieb mit 50 GV | 799 t _{FM} /a Gülle 2.768 t _{FM} /a NawaRo | 3.900 €/kW _{el} |
| Anlage 3 Ackerbau 140 GV | 461 kW _{el} 538 kW _{th} | 3.338 MWh _{th} /a ca. 445 kW _{th} | Ackerbaubetrieb mit 140 GV | 2.237 t _{FM} /a Gülle 8.296 t _{FM} /a NawaRo | 3.100 €/kW _{el} |
| Anlage 4 reiner Ackerbau | 461 kW _{el} 538 kW _{th} | 3.382 MWh _{th} /a ca. 451 kW _{th} | reiner Ackerbaubetrieb | 9.209 t _{FM} /a NawaRo | 3.100 €/kW _{el} |

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 _{el} | Anlage 3 und 4 500 kW _{el} |
|---|--|--|
| 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.

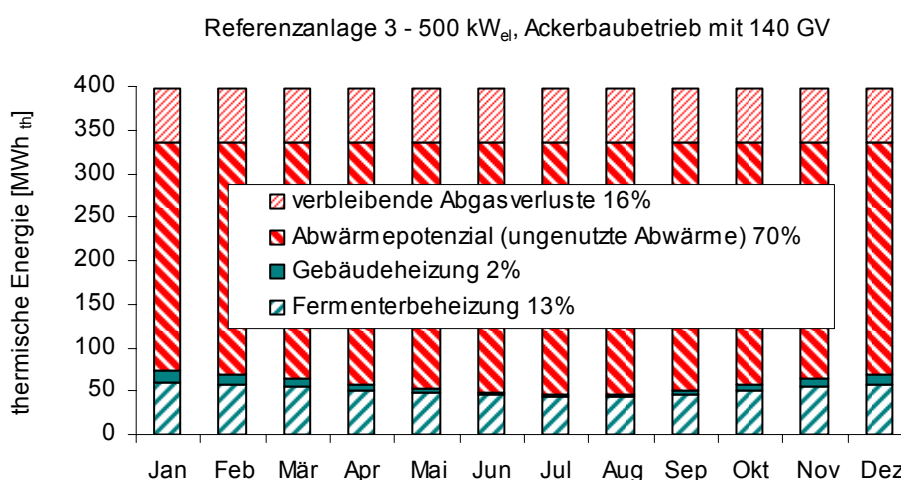


Abbildung 2-1: Nutzung der Abwärme bei Referenzanlage 3

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_{el} 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 _{el} | 500 kW _{el} |
|--------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Investitionskosten | 3.700/3.900 €/kW _{el} | 3.100 €/kW _{el} |

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.

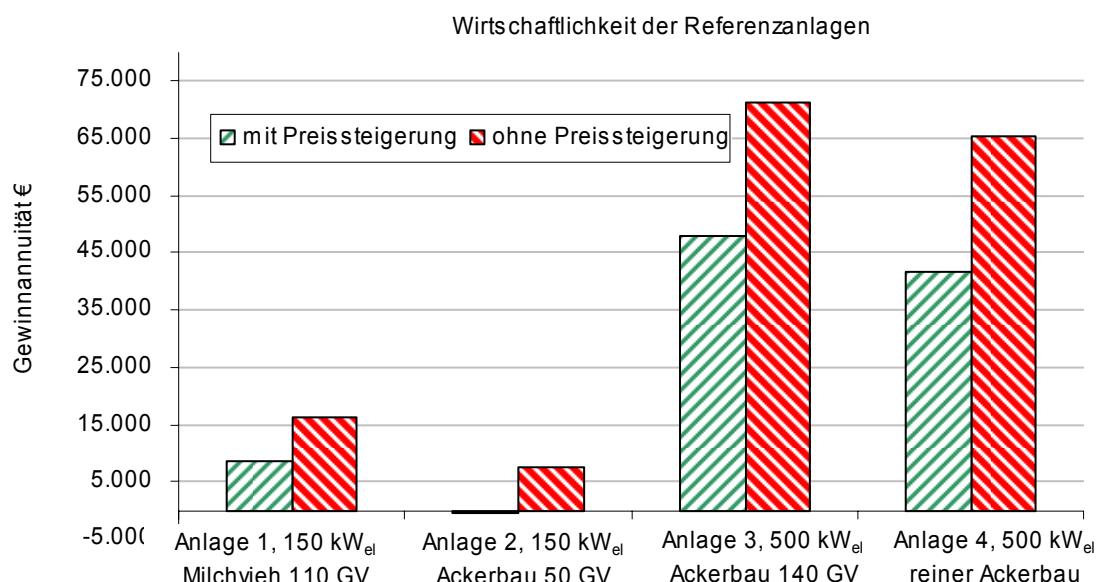


Abbildung 2-2: Gewinnannuität der Referenzanlagen

Die Referenzanlagen der Leistungsklasse 150 kW_{el} 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_{el} 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 %

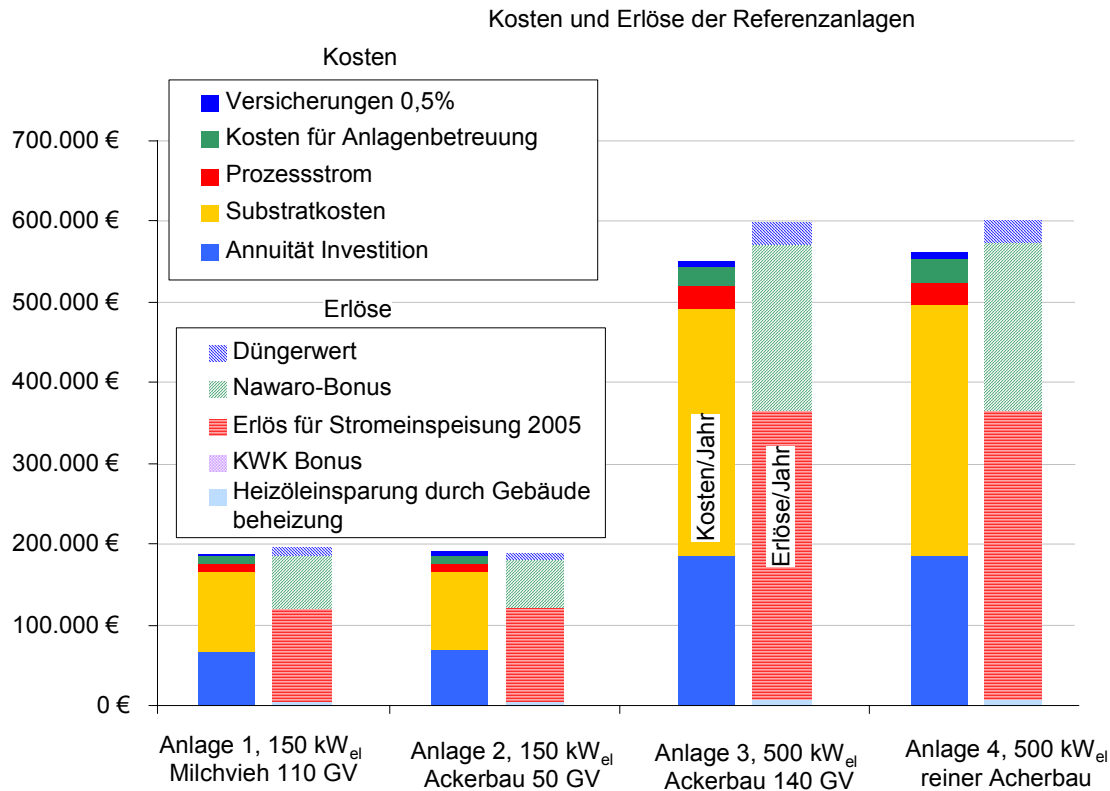


Abbildung 2-3: Aufteilung der jährlichen Kosten und Einnahmen für die Referenzanlagen

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_{el}
- Anlage 2 19 ct/kWh_{el}
- Anlage 3 16 ct/kWh_{el}
- Anlage 4 16 ct/kWh_{el}

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.

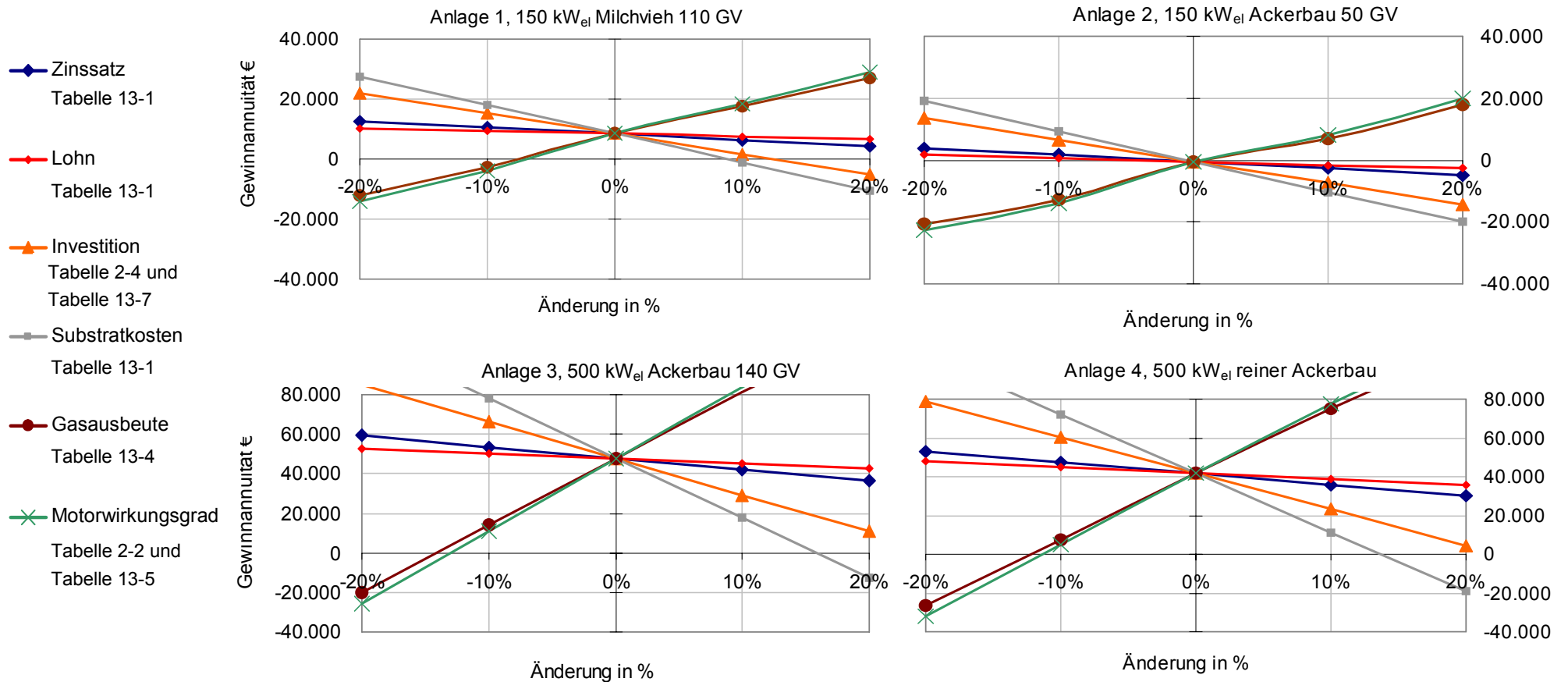


Abbildung 2-4: Sensitivität der Gewinnannuität der Referenzanlagen 1 bis 4 auf verschiedene Parameter.

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_{el} und 500 kW_{el}. 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.

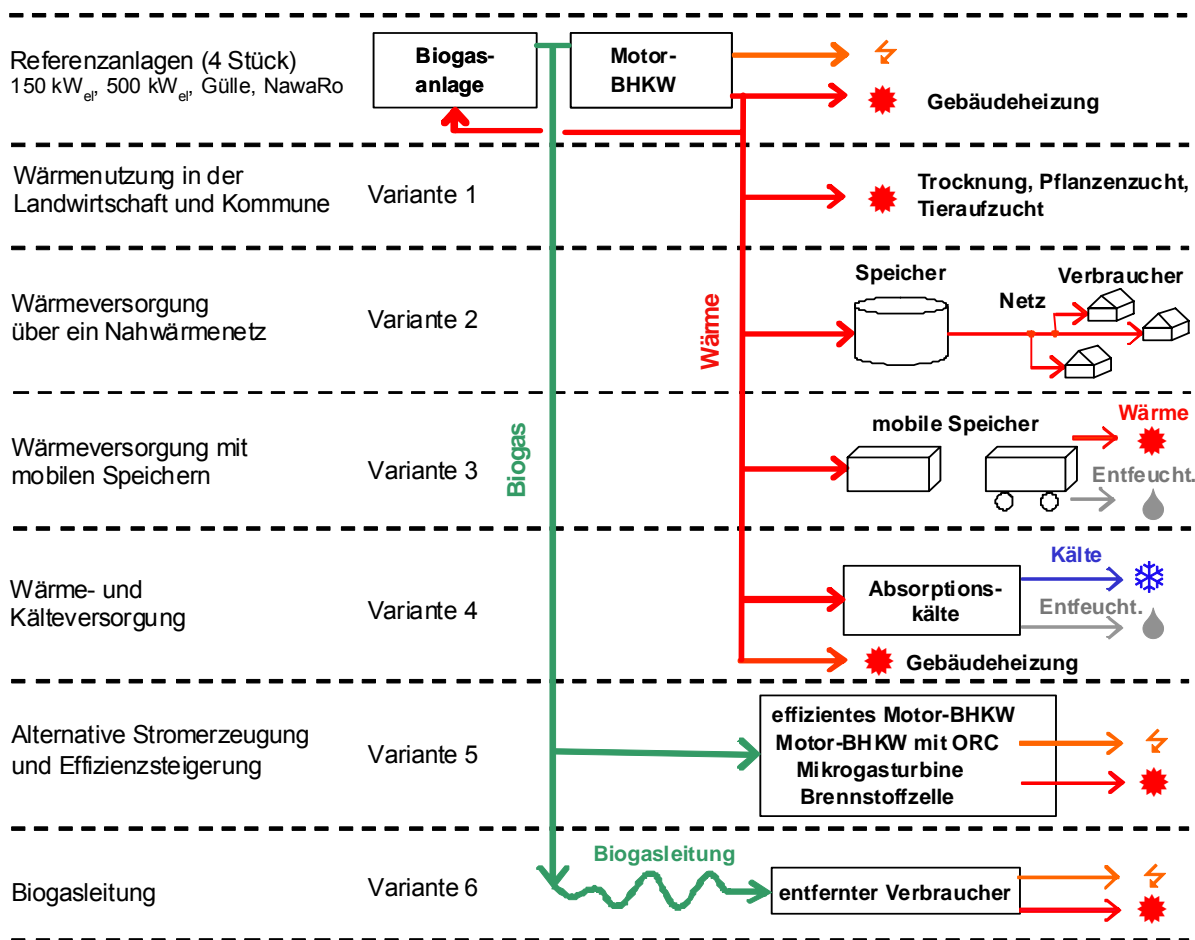


Abbildung 3-1: Die untersuchten sechs Varianten der Abwärmenutzung

Die Varianten 1 bis 4 basieren auf der vorhandenen BHKW-Technik und zeigen erweiterte Wärmennutzungsmöglichkeiten 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_{el} Anlage
 - Holzhackschnitzel mit Schubwendetrockner nur bei der 500 kW_{el} Anlage
 - Getreide mit Dächerschachttrockner
 - Getreide mit Wagentrockner
 - Getreide mit Schubwendetrockner nur bei der 500 kW_{el} 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 m² / 5.000 m², Grundlast
 - Wärme- und Kälteversorgung für 2 *Gewerbeobjekt* 1.000 m² / 2.500 m², Vollversorgung
 - Wärme- und Kälteversorgung für 3 *Molkerei*, Vollversorgung
 - Wärme- und Kälteversorgung für 4 *Lagerhaus*, Vollversorgung
 - Wärme- und Kälteversorgung für 5 *Gewerbeobjekt* 3.500 m², Vollversorgung nur 500 kW_{el} 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_{el} 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_{el} 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_{el} 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_{el} bzw. 500 kW_{el} 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_{el} 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/m²a) - 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_{el} Biogasanlagen bei einer Entfernung bis 10 km zum Wärmeabnehmer eine Alternative zur leitungsgebundenen Wärmeverteilung. Bei 150 kW_{el} 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_{el} Anlage ist eine Wirkungsgradsteigerung von 3 %-Punkten möglich. Dadurch entstehen jährliche Mehreinnahmen von 15.000 € im Vergleich zum Gas-Otto-Motor. Bei 500 kW_{el} 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_{el} 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 CO₂-Düngung von Gemüse in Glashäusern mit dem Abgasstrom sinnvoll sein. Der elektrische Wirkungsgrad ist jedoch geringer und das Angebot für 500 kW_{el} derzeit nicht vorhanden. Nutzbare Gasturbinen haben eine Leistung von 60 bis 100 kW_{el}.

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_{el} Anlage möglich. Bei der 500 kW_{el} 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 CO₂-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 CO₂-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_{el} bei der Klärschlamm-trocknung, im Bereich der Heil- und Gewürzpflanzentrocknung und im Bereich der mobilen Wärmespeicherung.

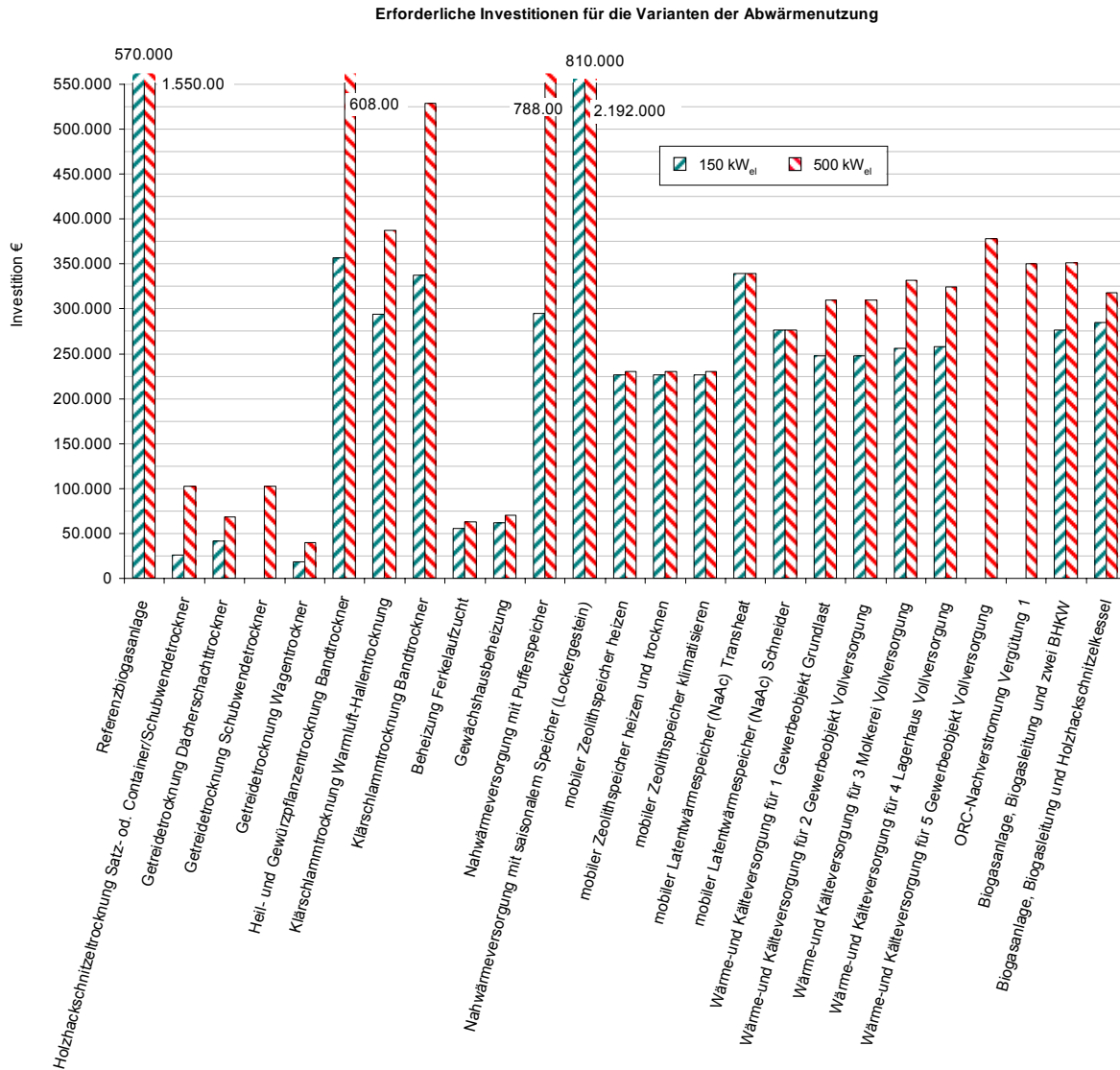


Abbildung 3-2: Investitionen für die Abwärmenutzungsvarianten im Vergleich. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und 500 kW_{el} Anlagen.

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.

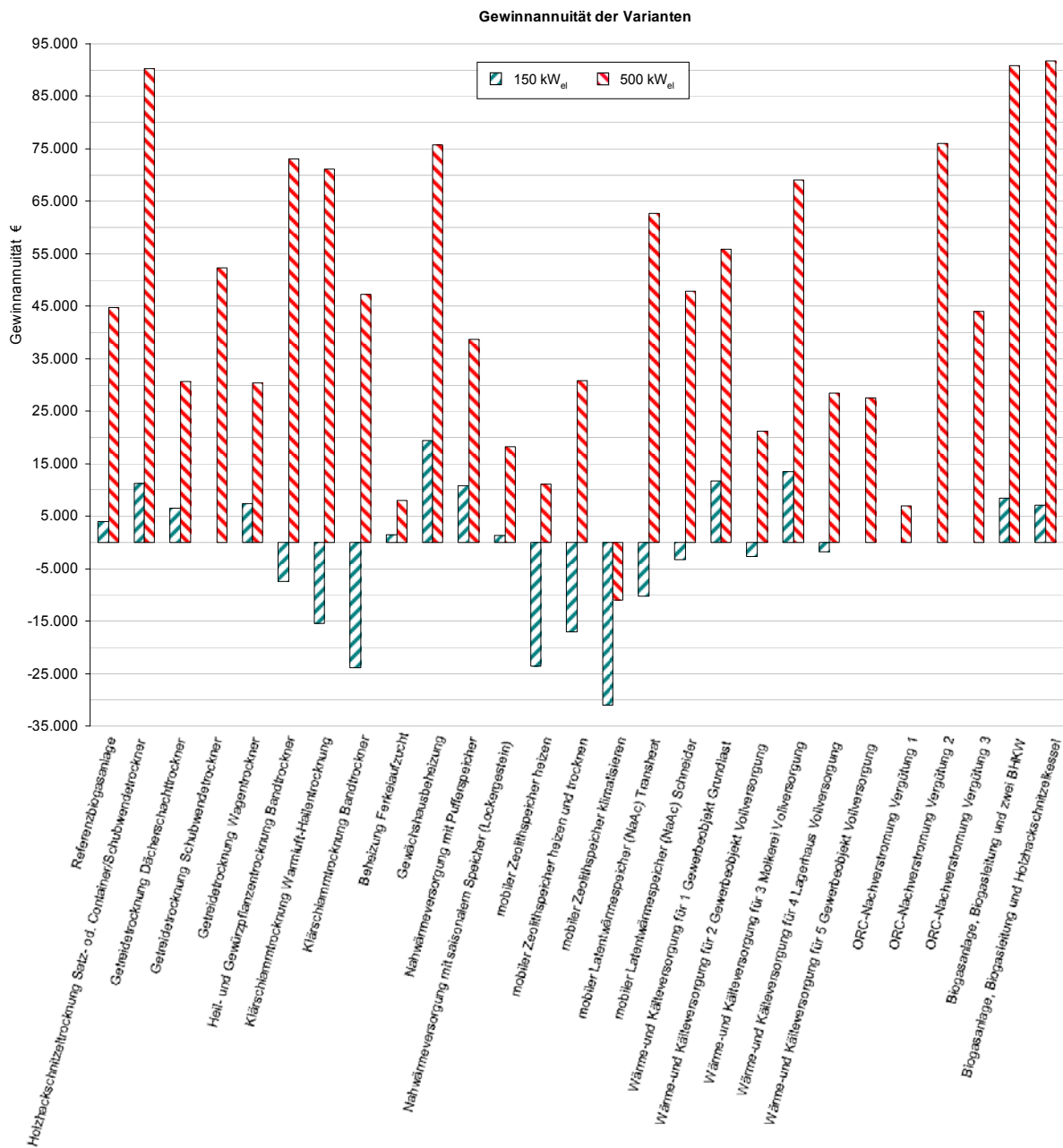


Abbildung 3-3: Gewinnannuitäten für die Varianten im Vergleich. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und 500 kW_{el} Anlagen.

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

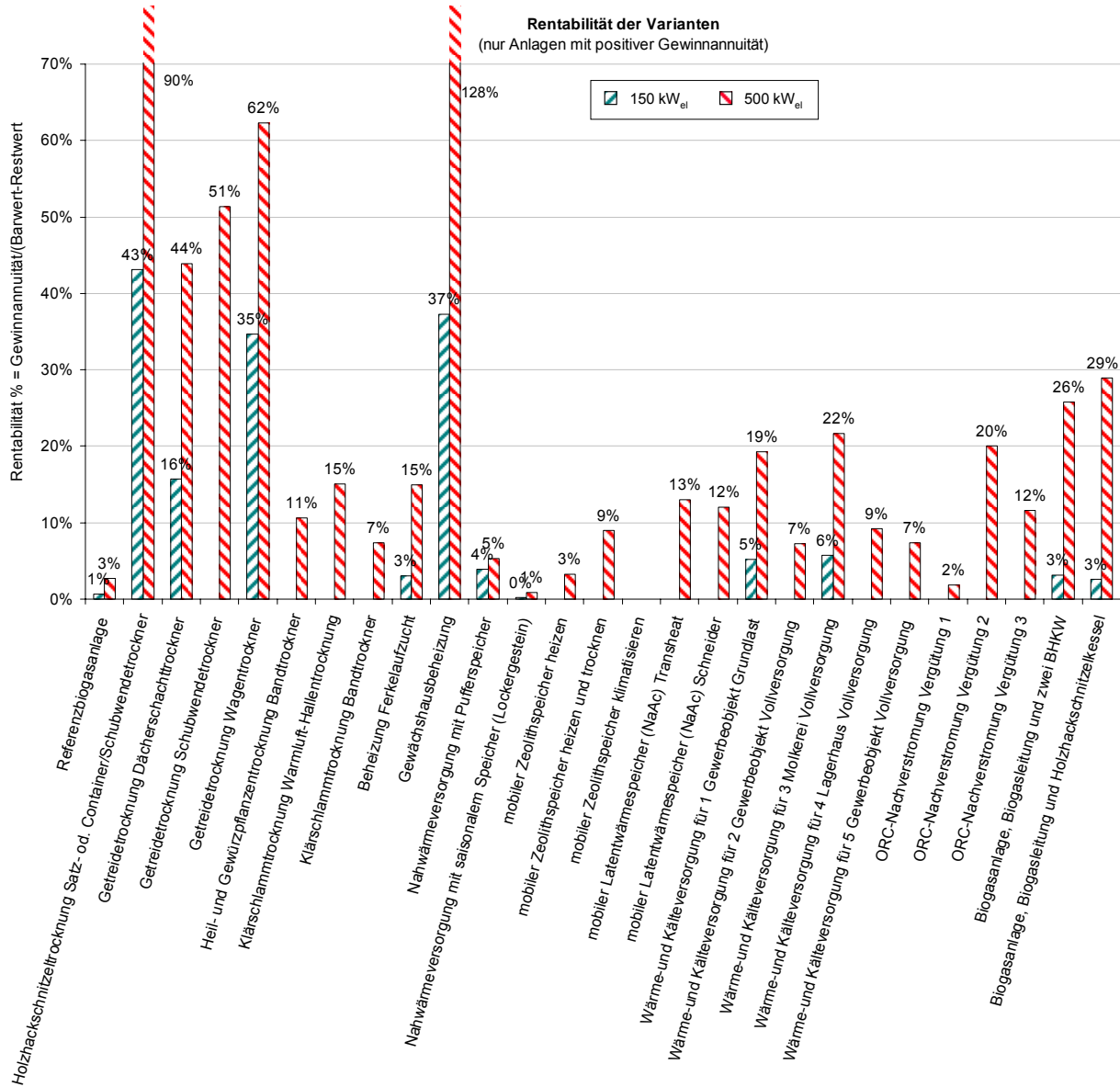


Abbildung 3-4: Rentabilität für die Abwärmenutzungsvarianten im Vergleich. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und 500 kW_{el} Anlagen.

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.

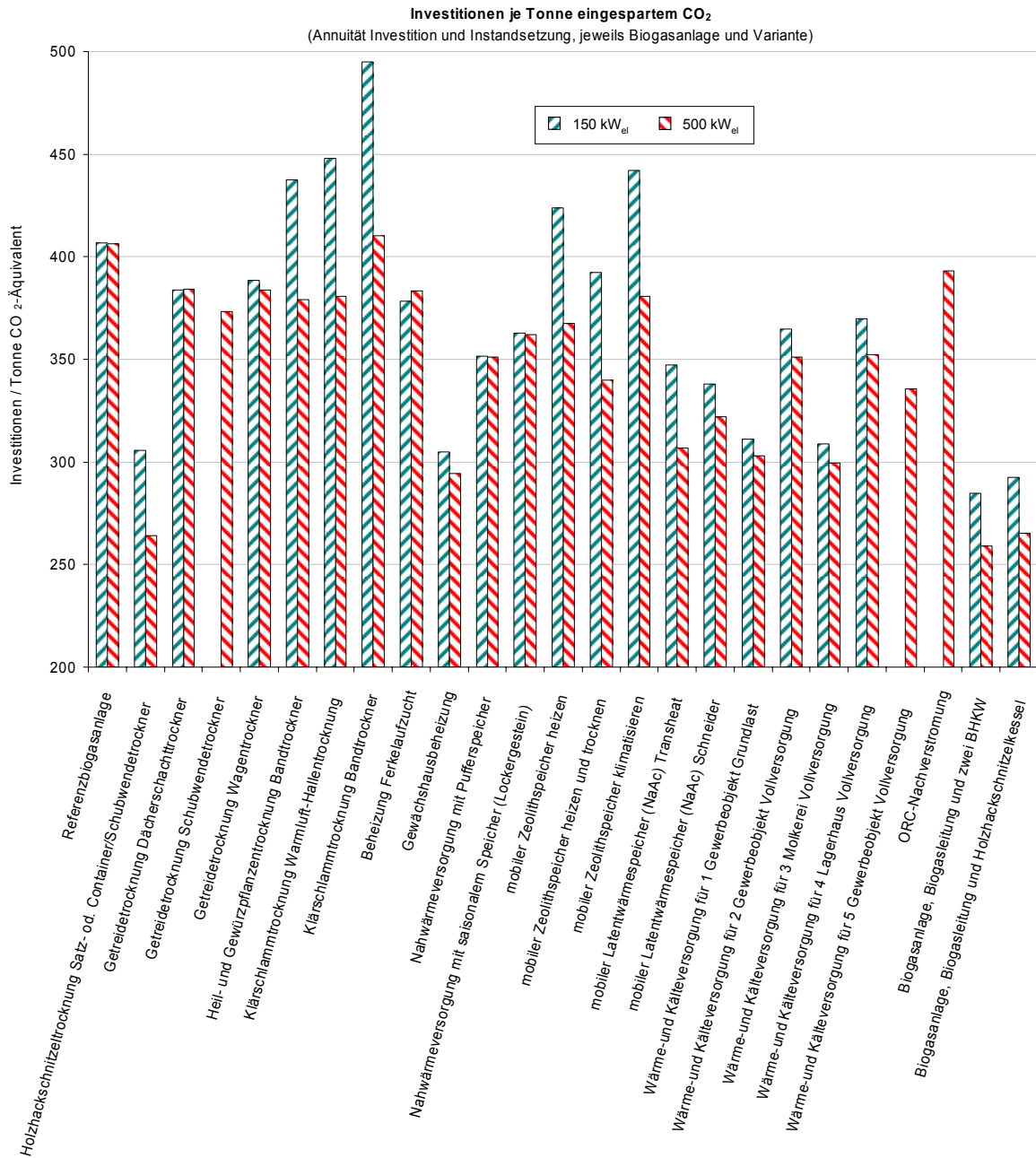


Abbildung 3-5: Investitionen (Annuität Investition und Instandsetzung) je eingesparter Tonne CO₂-Äquivalente (Annuität der Investitionskosten/eingesparte CO₂-Äquivalente). Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und 500 kW_{el} Anlagen. Als Vergleichsbasis dienen die Wärmeerzeugung 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 CO₂-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 Abwärmenutzungsvarianten 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.

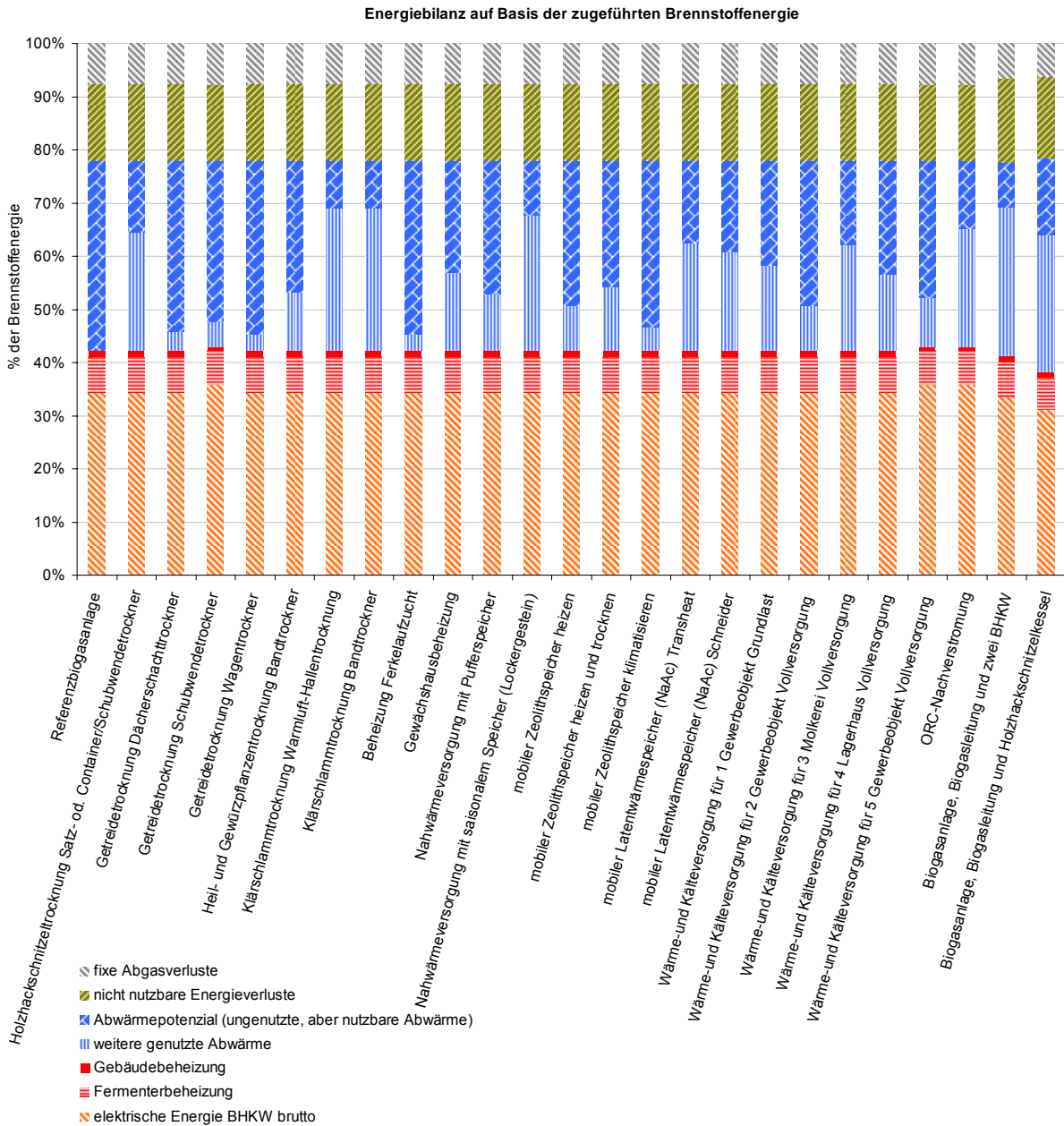


Abbildung 3-6: Energiebilanz auf Basis der zugeführten Brennstoffenergie. Aufgetragen ist der Mittelwert der vier Referenzanlagen. Die Daten finden Sie im Anhang 13.10 Tabelle 13-87.

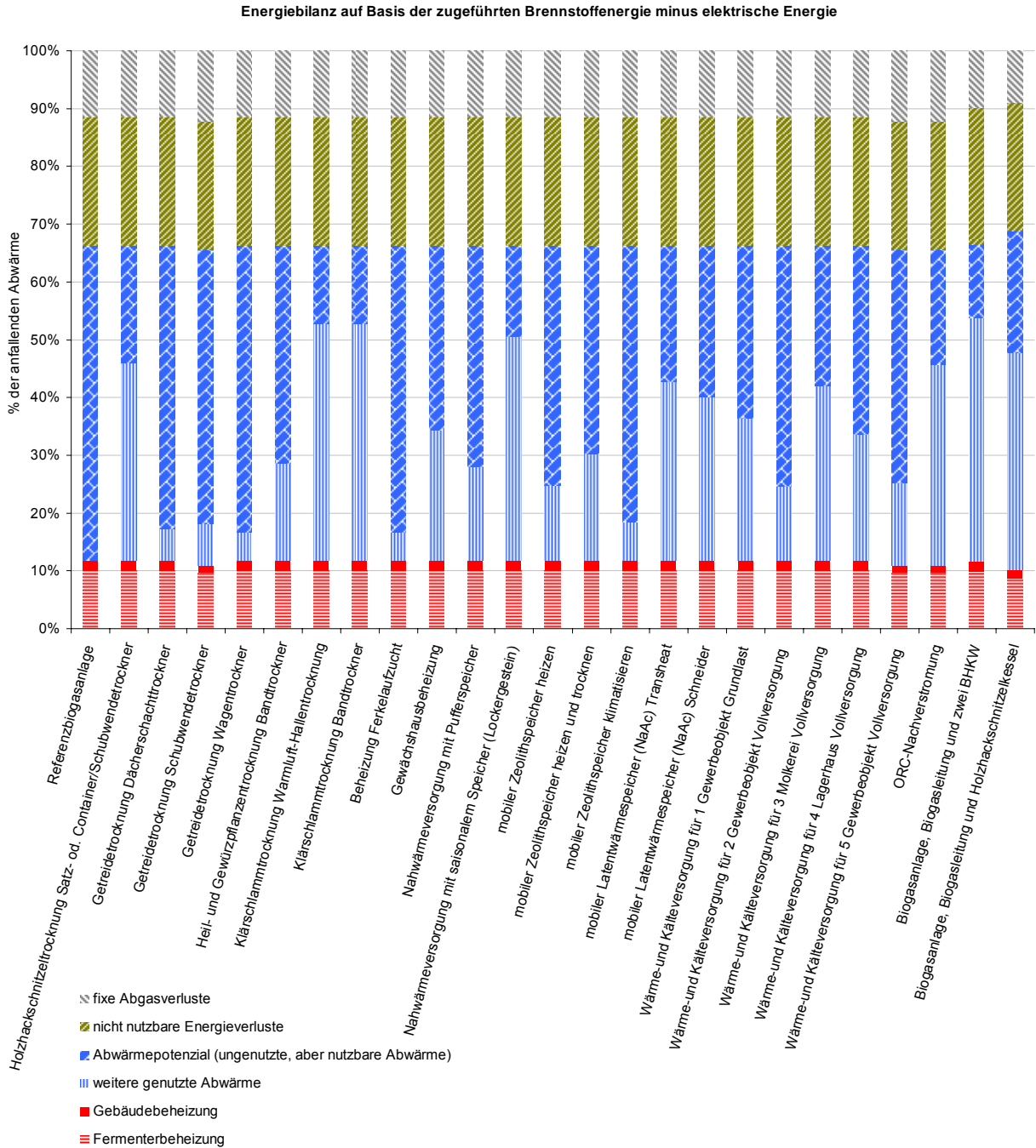


Abbildung 3-7: Energiebilanz auf Basis der zugeführten Brennstoffenergie minus elektrische Energie. Aufgetragen ist der Mittelwert der vier Referenzanlagen. Die Daten finden Sie im Anhang 13.10, Tabelle 13-87.

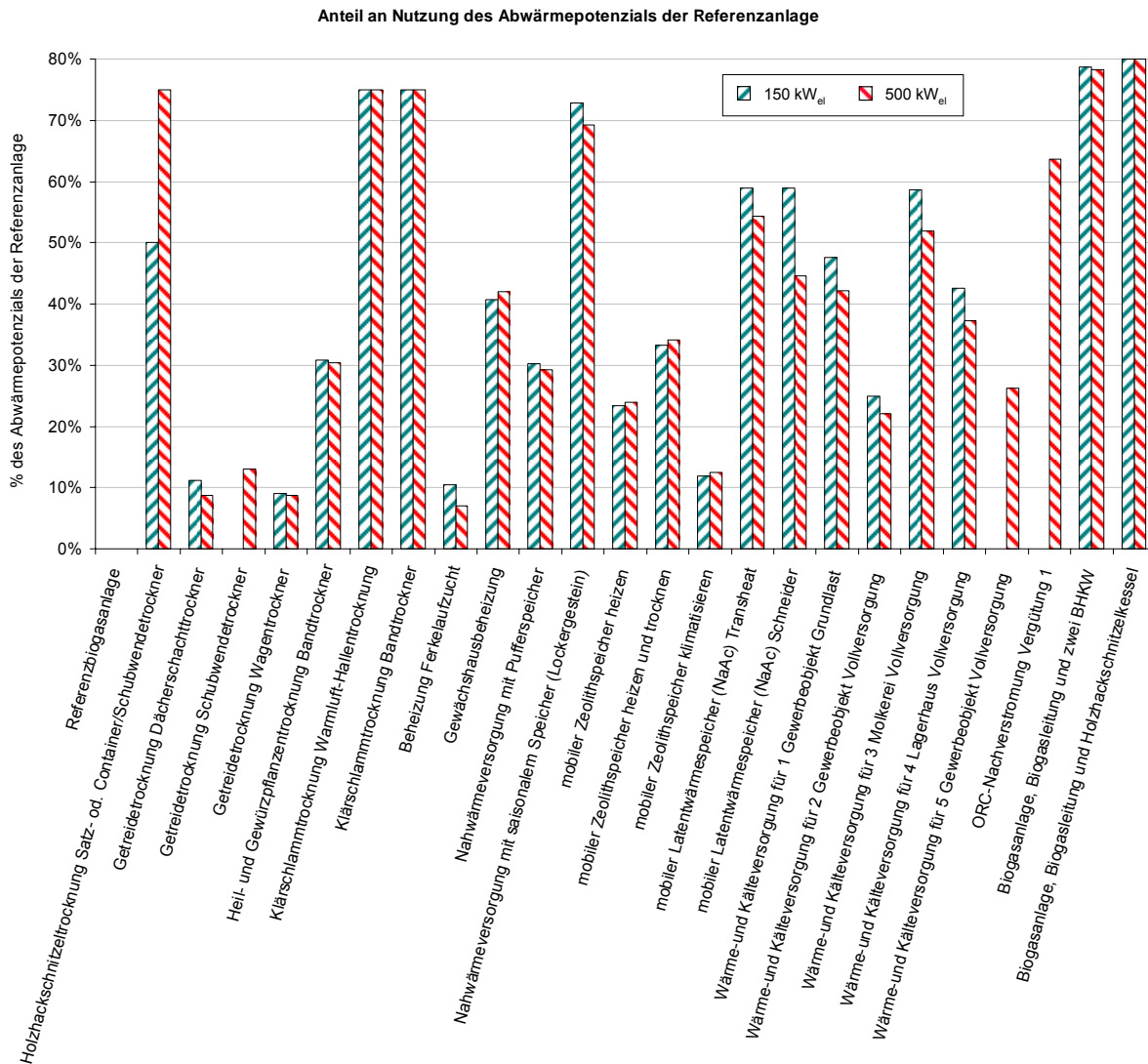


Abbildung 3-8: Anteil an der Nutzung des Abwärmepotenzials der Referenzanlage. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und 500 kW_{el} Anlagen.

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 Hacksnitzeltrocknung), 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 CO₂-Äquivalente von Heizöl und bei der Stromerzeugung die spezifischen CO₂-Äquivalente des deutschen Strommixes herangezogen.

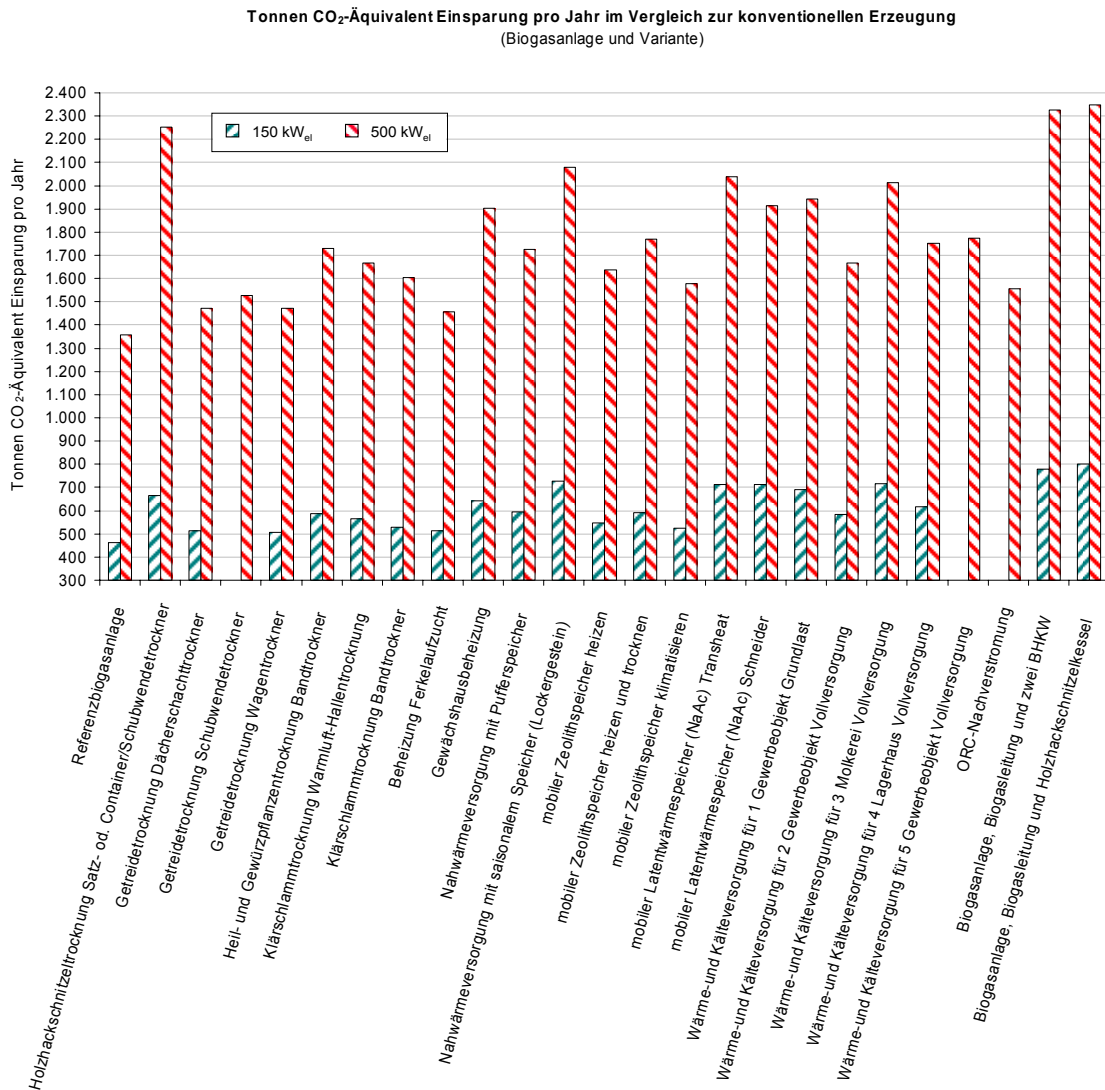


Abbildung 3-9: Absolute CO₂-Äquivalent-Einsparung in Tonnen pro Jahr im Vergleich zur konventionellen Erzeugung. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und 500 kW_{el} Anlagen. Die Werte finden Sie im Anhang Abschnitt 13.10 Tabelle 13-90.

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_{el} Anlage im Vergleich zur 500 kW_{el} 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.

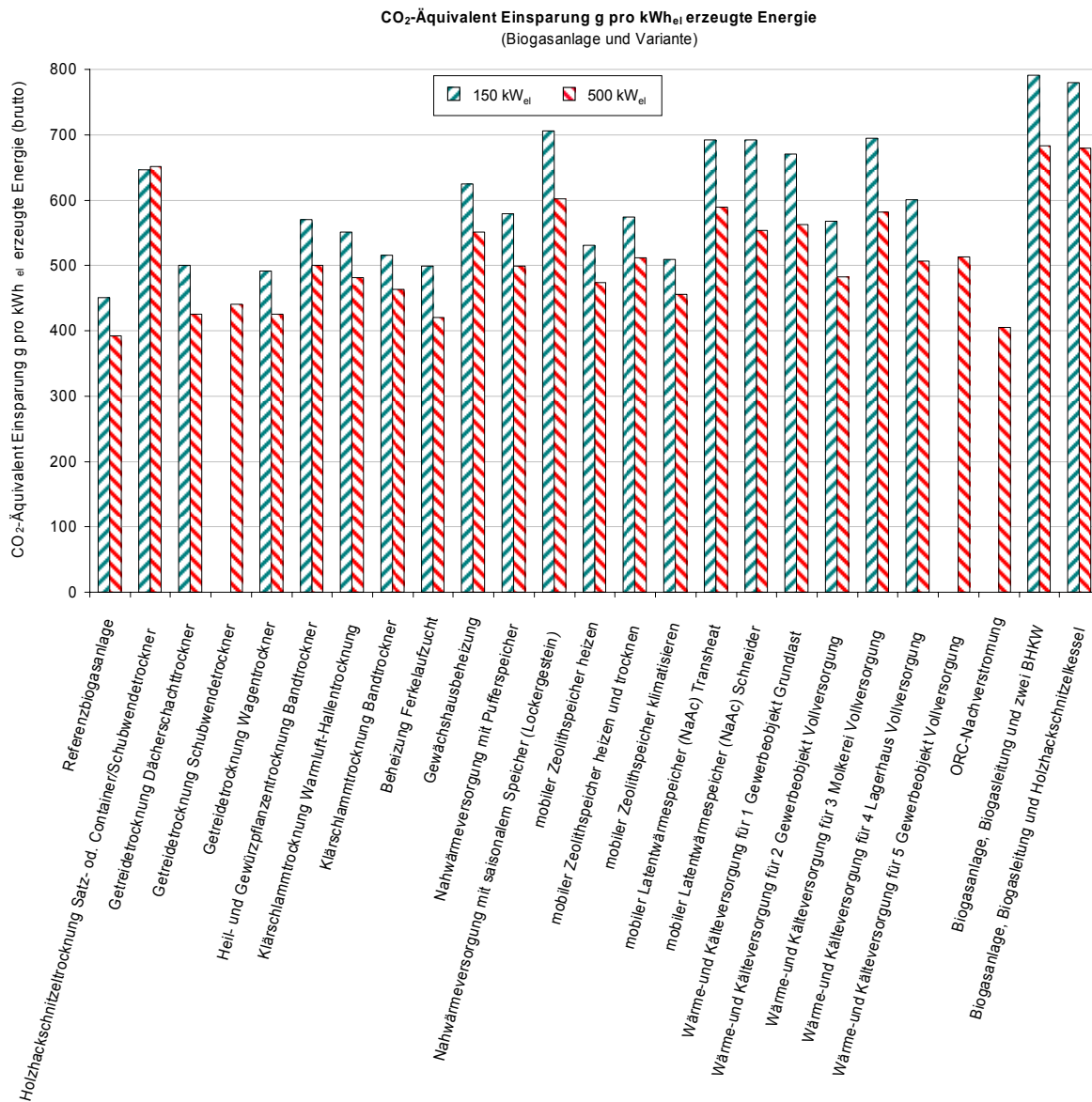


Abbildung 3-10: CO₂-Einsparung je erzeugte kWh_{el} (brutto) im Vergleich zur konventionellen Erzeugung. Berücksichtigt sind jeweils Biogasanlage und Abwärmenutzungsvariante. Aufgetragen ist jeweils der Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und 500 kW_{el} Anlagen. Die Werte finden Sie im Anhang Abschnitt 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 CO₂

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_{el} und 500 kW_{el} 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_{el}

| 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_{el} Anlagen

Abwärmenutzungsvarianten für Biogasanlagen mit 500 kW_{el}

| 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_{el} 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_{el} 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 CO₂-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 _{el}) |
| | | 75 % bei Schubwendetrockner (nur 500 kW _{el}) |
| Getreide | Juli und August | 50 % bei Dächerschachttrockner |
| | | 50 % bei Wagentrockner |
| | | 75 % bei Schubwendetrockner (nur 500 kW _{el}) |
| 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_{el} Anlagen ist die Trocknung von Holzhackschnitzeln, Kräutern, Getreide und Klärschlamm eine sehr wirtschaftliche Variante. Bei der 150 kW_{el} Anlage ist die Holzhackschnitzel- und Getreidetrocknung interessant.

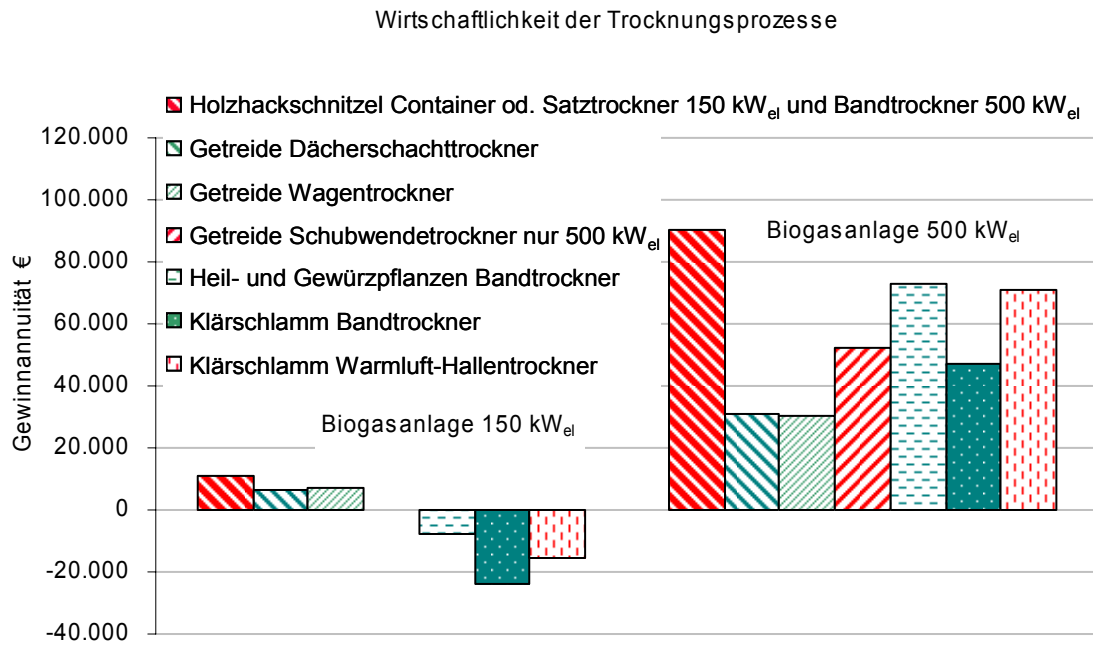


Abbildung 4-1: Gewinnannuität der untersuchten Trocknungsprozesse. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

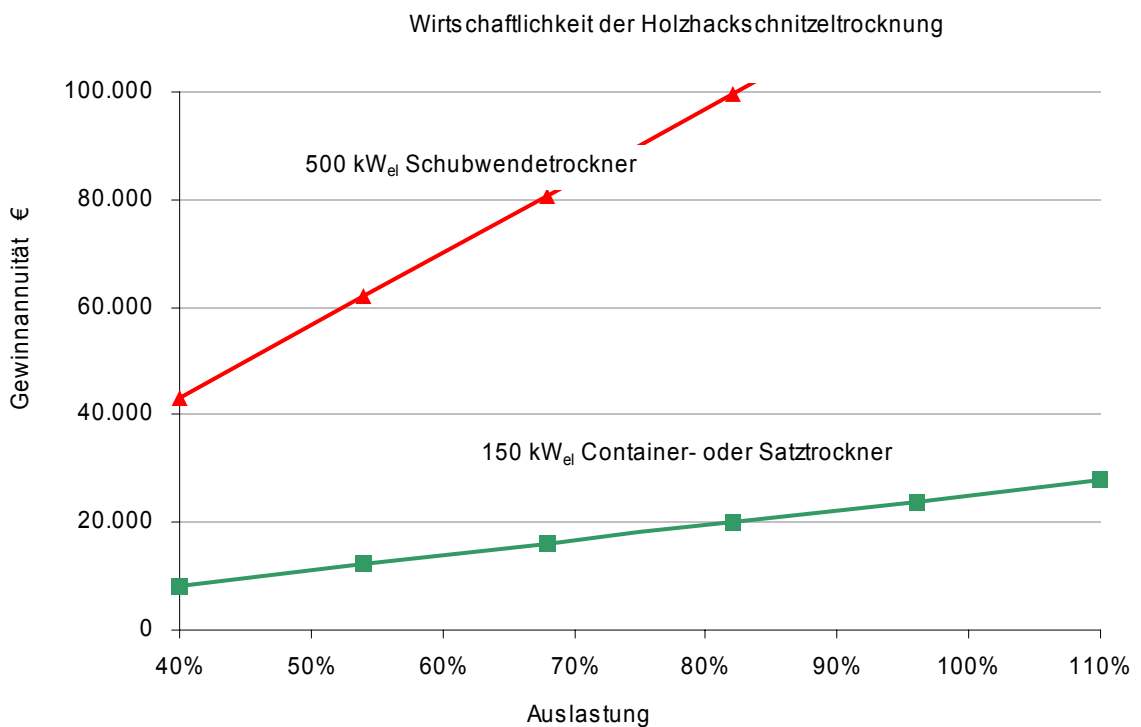


Abbildung 4-2: Gewinnannuität der Hackschnitzel trocknung in Abhängigkeit der Auslastung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

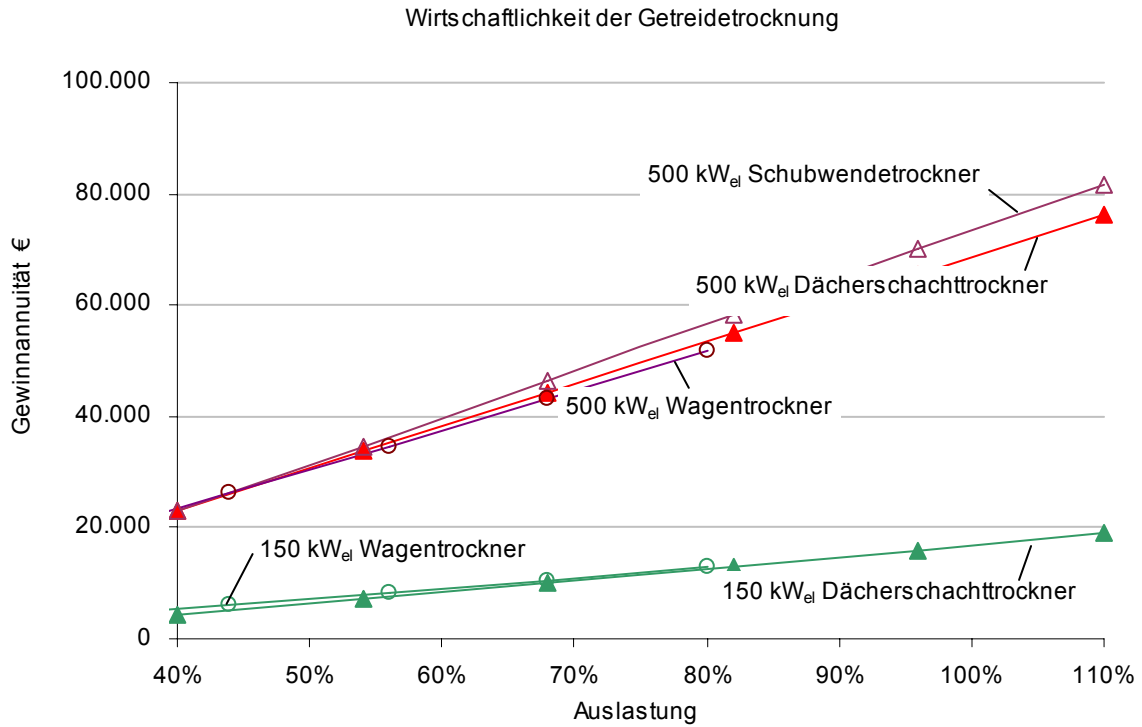


Abbildung 4-3: Gewinnannuität der Getreidetrocknung in Abhängigkeit der Auslastung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

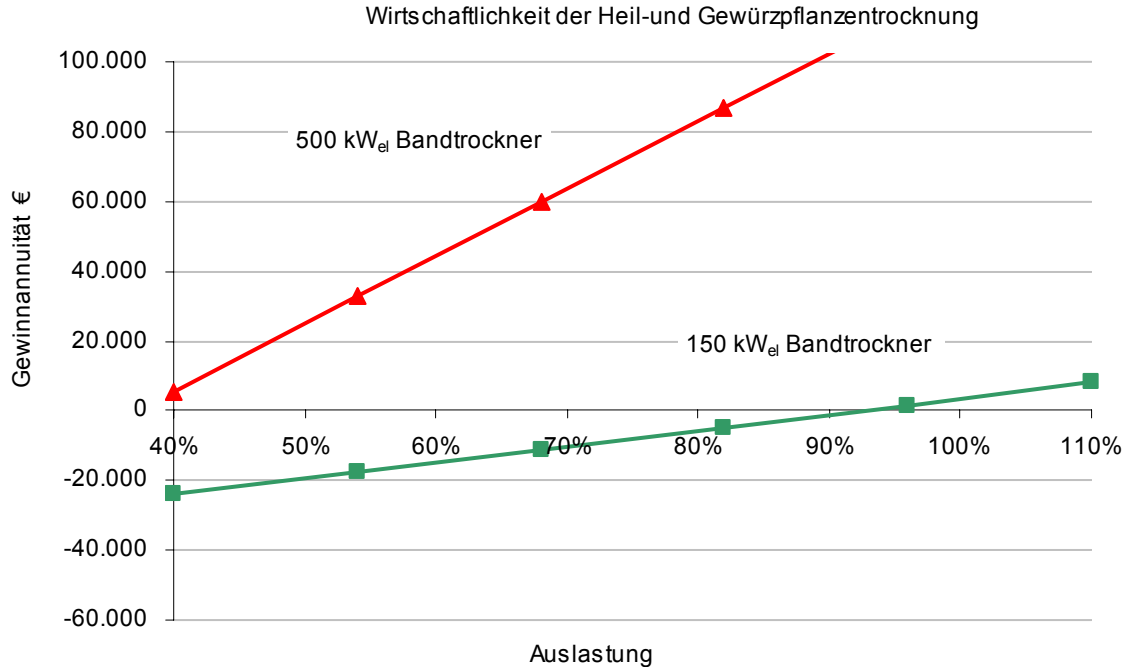


Abbildung 4-4: Gewinnannuität der Trocknung von Heil- und Gewürzpflanzen mit einem Bandrockner in Abhängigkeit der Auslastung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus. Die hohe Investition in einen Bandrockner rechnet sich nur für große Anlagen, aber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

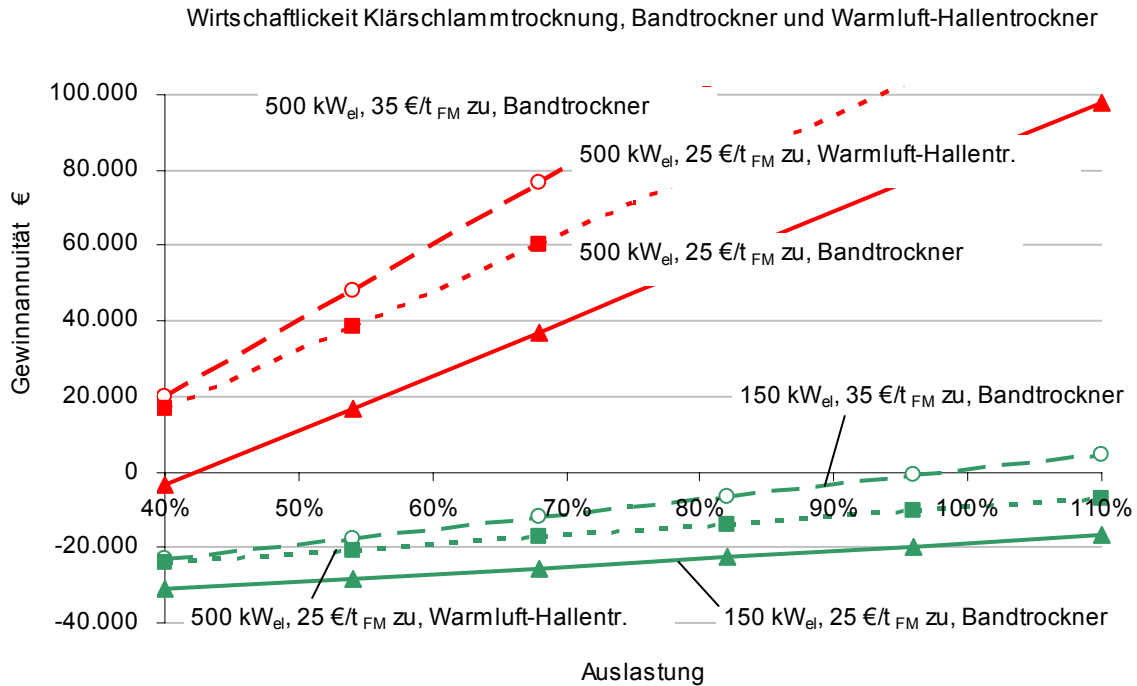


Abbildung 4-5: Gewinnannuität der Klärschlamm-trocknung in Abhängigkeit der Auslastung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus. Es wurden keine Minderungsmaßnahmen von Geruchsemissionen berücksichtigt. Für die 500 kW_{el} Anlagen ist die Anwendung einer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

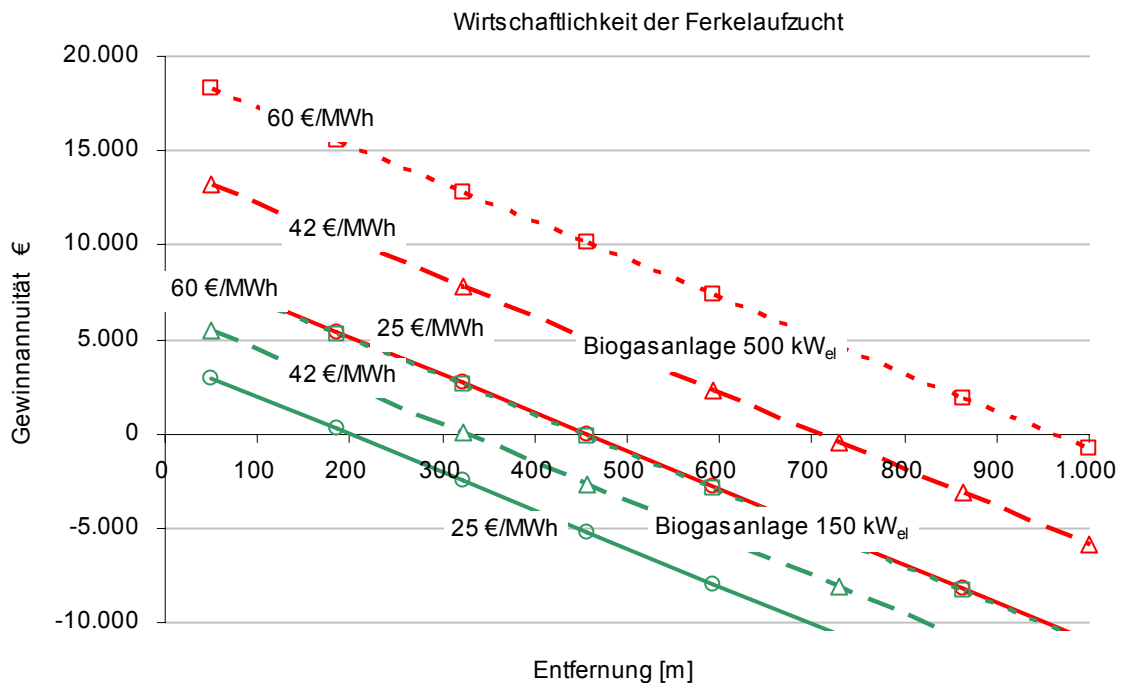


Abbildung 4-6: Gewinnannuität der Ferkelaufzucht in Abhängigkeit des Wärmeerlöses und der Entfernung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

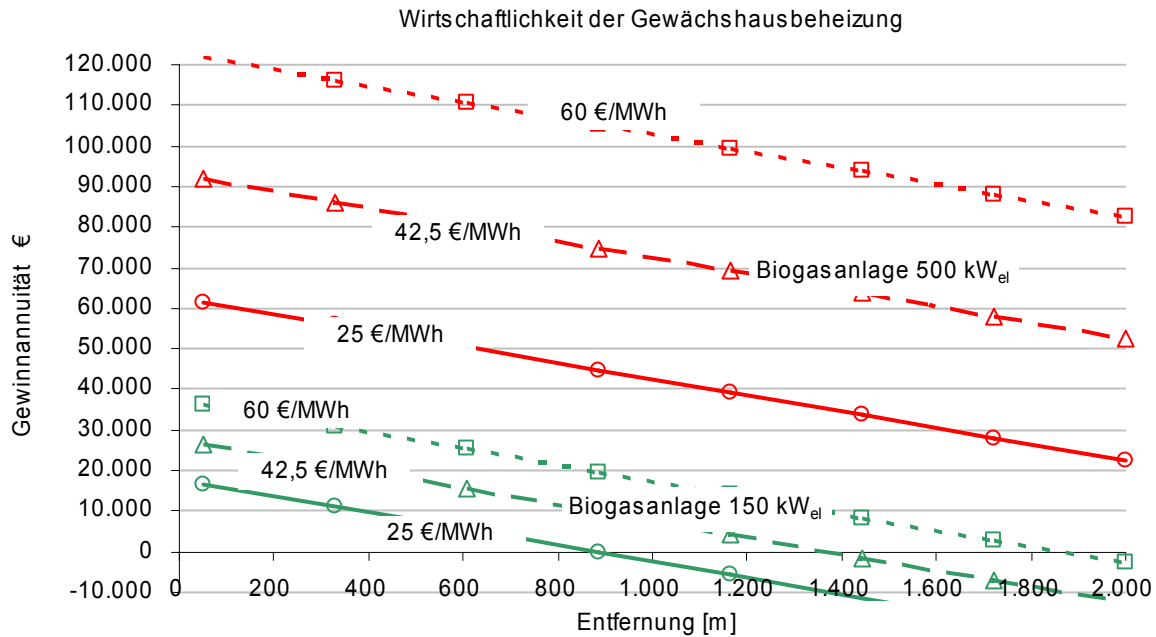


Abbildung 4-7: Gewinnannuität der Gewächshausbeheizung in Abhängigkeit des Wärmeerlöses und der Entfernung. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

4.4 Trocknungsprozess für Holzhackschnitzel

Holzhackschnitzel haben den Vorteil, dass sie ganzjährig getrocknet werden können und somit eine saisonal unabhängige Abwärmenutzung ermöglichen. Es wird mit einem steigenden Bedarf für die Hackschnitzeltrocknung 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.

Holzhackschnitzel 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 Holzhackschnitzel (Feinhackgut) werden überwiegend von Betreibern kleinerer Feuerungen (10–100 kW) nachgefragt, die Hackschnitzel 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 Holzhackschnitzel über den Sommer notwendig sein, um eine hohe Auslastung der Trocknung zu erzielen. Das kann durch einen überdachten Lagerplatz realisiert werden.

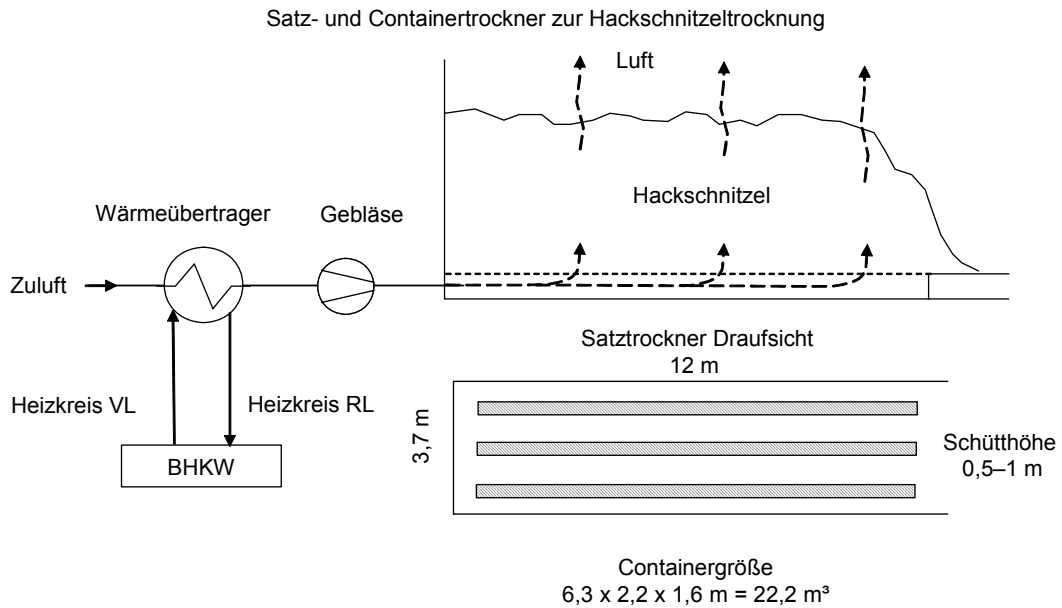
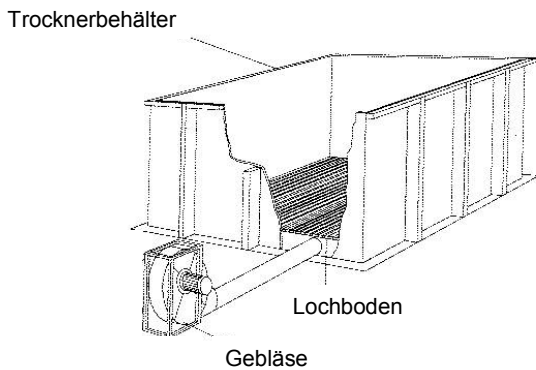


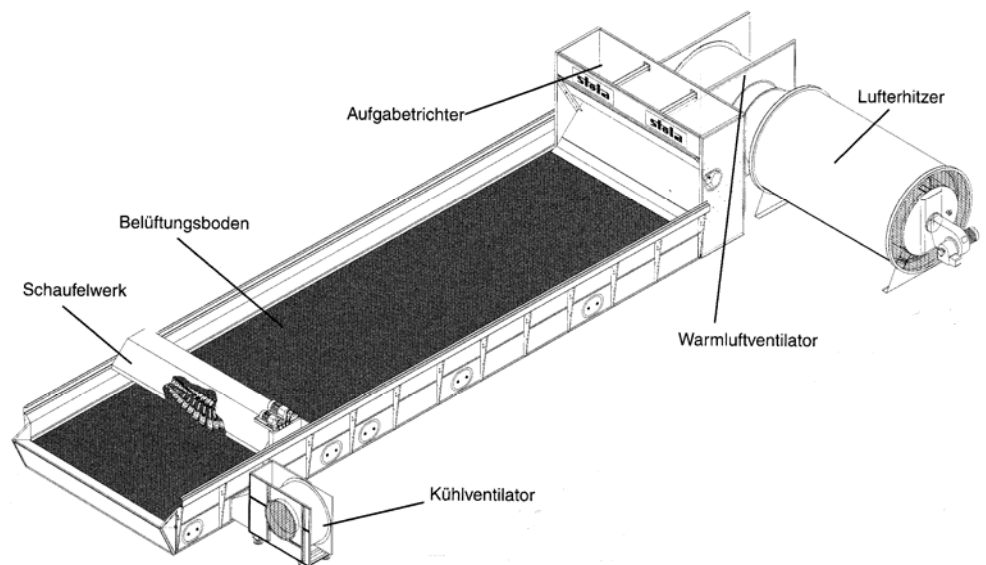
Abbildung 4-8: Schaltbild für eine Satz- oder Containertrocknung



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 Satzrockner, Quelle [Kaltschmitt, 2001]

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



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

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_{el} Anlage sind zwei Container mit je 22 m³ vorgesehen. Für die 500 kW_{el} 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_{el} 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_{el} 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.

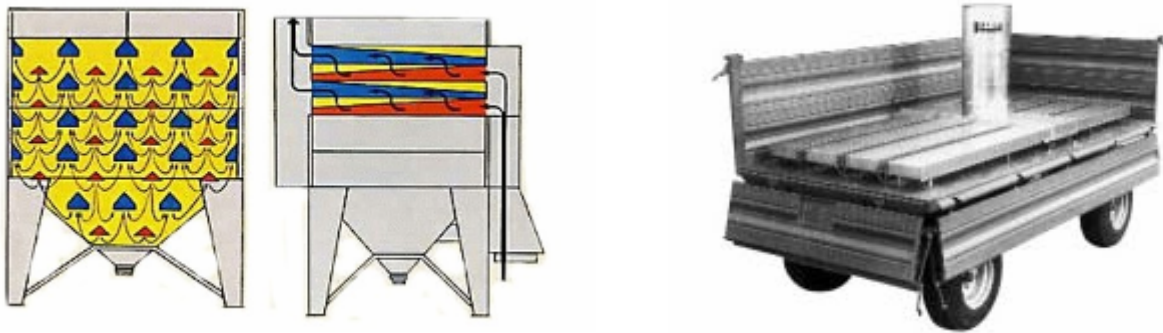


Abbildung 4-11: Links Dächerschachttrockner (Quelle Riela), rechts Wagentrockner (Quelle Rako)

| Biogas-Anlagengröße | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
|---------------------------------------|---|----------------------|
| 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 _{el}) | |
| Schüttdichte Getreide | 750 kg _{FM} /Srm | |
| Erlössteigerung Getreide [KTBL, 2005] | 10 €/t _{FM} | |
| (Erlössteigerung Mais [KTBL, 2005]) | 41 €/t _{FM} | |

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 Bandtrockner 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 Mehrbandtrockner ausgeführt, wird das Gut an jedem Ende umgeschichtet und so gleichmäßig getrocknet.

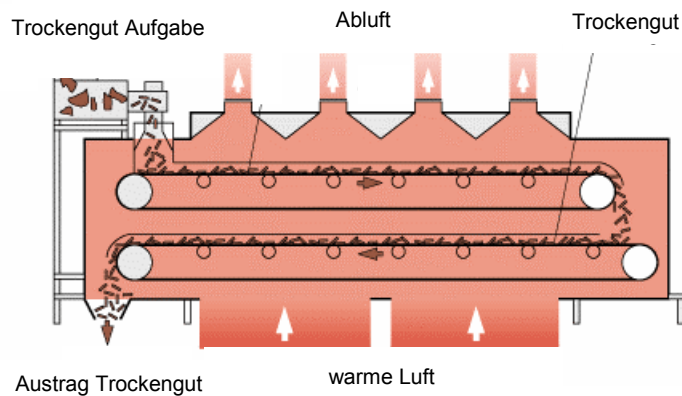


Abbildung 4-12: Bandtrockner (Quelle Netzsch)

Pfefferminze, Petersilie, Dillspitzen, Kamille und Bohnenkraut sind typische Kräuter, die mit einem Bandtrockner 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 _{el} | 500 kW _{el} |
|---|---|----------------------|
| Wassergehalt der Pfefferminze und Kamille | von 86 % auf 9 % | |
| Trocknungszeitraum | Juni bis Oktober | |
| Zeitausnutzung bzw. Abwärmeausnutzung | 75 % bei Bandtrockner davon im Juli 50 %, Oktober 70 % | |
| Massenanteil Pfefferminz und Kamille | je 50 % der TM | |
| Erlössteigerung Pfefferminz [KTBL, 2005] | 189 €/t _{FM} | |
| Erlössteigerung Kamille [KTBL, 2005] | 125 €/t _{FM} | |

Tabelle 4-4: Kenndaten Trocknung von Heil- und Gewürzpflanzen mit einem Bandtrockner 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.

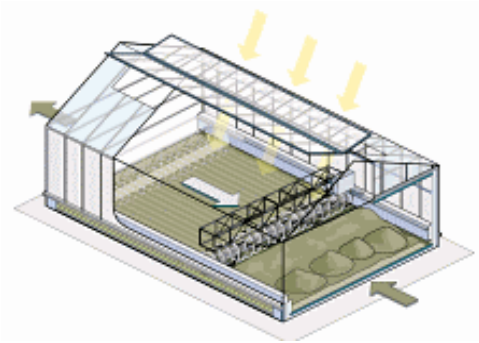


Abbildung 4-13: Klärschlamm-trocknung mit Warmluft-Hallentrocknung (Quelle Ist-Anlagenbau)

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

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_{el} und 2.000 Plätzen bei 500 kW_{el} ca. 11 % des Abwärmepotenziales der 150 kW_{el} bzw. 7 % der 500 kW_{el}-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 _{el} | 500 kW _{el} |
|-----------------------------------|--|----------------------|
| 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 _{el} | 500 kW _{el} |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Zeitraum mit Wärmeversorgung | Oktober bis März | |
| Erlös Wärme | 25–60 €/MWh Wärme | |
| Beheizte Gewächshausfläche | 430 m ² | 1.300 m ² |
| spezifischer Heizwärmebedarf | 1.075 kWh/(m ² a) | 1.075 kWh/(m ² 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 CO₂ 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 CO₂-Versorgung eines neu errichteten Gewächshauses mit 6,3 ha Fläche durch eine Biogasanlage in Betrieb [Pecka, 2006]. Der Jahreswärmebedarf ist mit 500 kWh/(m²a) 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.

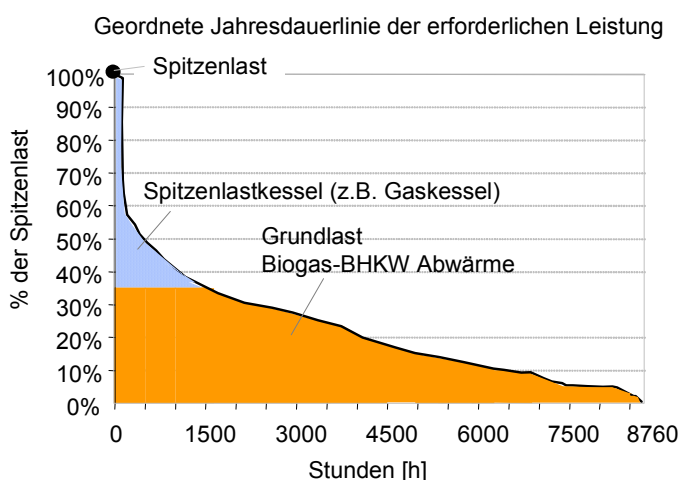


Abbildung 5-1: Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmeleistungsbedarfs

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 Wärmerezeuger 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.

| Gebäude und Anlage | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
|--|---|----------------------|
| Gebäudeart Neubau-Wohnsiedlung | 17.245 kWh/Gebäude | |
| Nutzfläche der Gebäude / Anzahl der Personen pro Haus | 180 m ² / 4 | |
| Heizwärmebedarf | 75 kWh/(a*m ²) | |
| Wärmebedarf Warmwassererzeugung | 937 kWh/(a*Person) | |
| Investition Wärmeleitung | 375 €/m | |
| Wärmeerlös | 60 €/MWh | |
| Strombedarf für die Wärmeverteilung (Pumpstrom) | 4 kWh _{el} /MWh _{th} ab Hausübergabestation | |
| <i>Nahwärmenetz mit Pufferspeicher</i> | | |
| 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 % | |
| <i>Nahwärmenetz mit saisonalem Speicher</i> | | |
| 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_{el} Biogas-Referenzanlage können 20 Einfamilienhäuser einer Neubau-Wohnsiedlung versorgt werden. Mit der 500 kW_{el} 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.

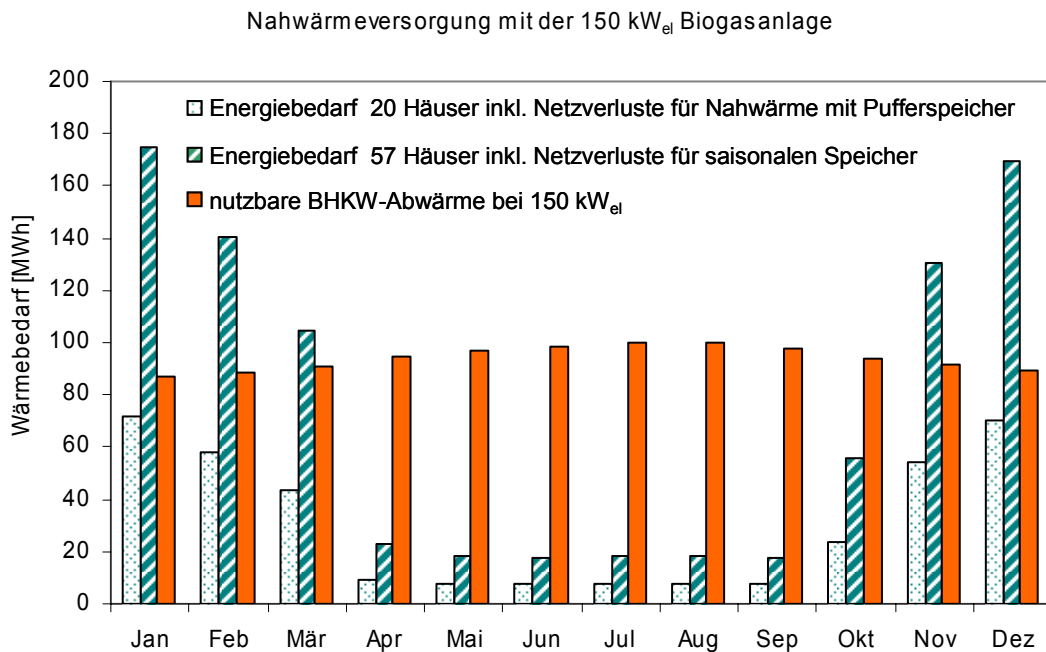


Abbildung 5-2: Bedarf von 20 und 57 Häusern und Abwärmeeinfall am 150 kW_{el} BHKW

5.4 Nahwärmenetzkonzept mit saisonalem Speicher

Mit einem saisonalem Speicher können mit der 150 kW_{el} Biogas-Referenzanlage etwa 48 Einfamilienhäuser und mit der 500 kW_{el} Biogas-Referenzanlage 135 Einfamilienhäuser versorgt werden. Die Wärmebedarfsdeckung ist in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

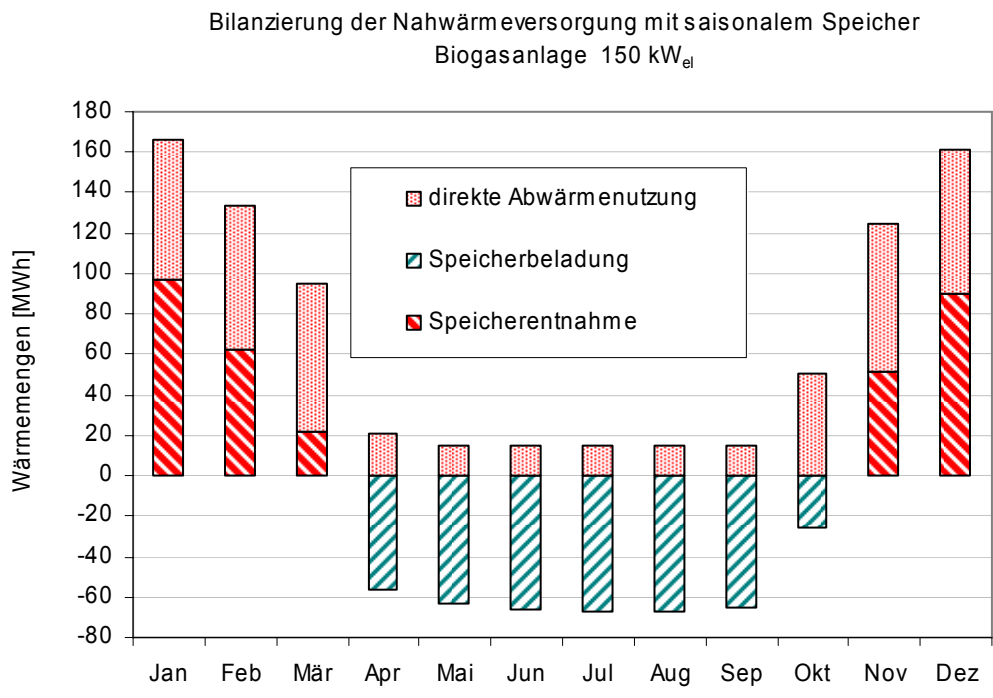


Abbildung 5-3: Nahwärmeversorgung von 48 Häuser mit einem saisonalem Speicher

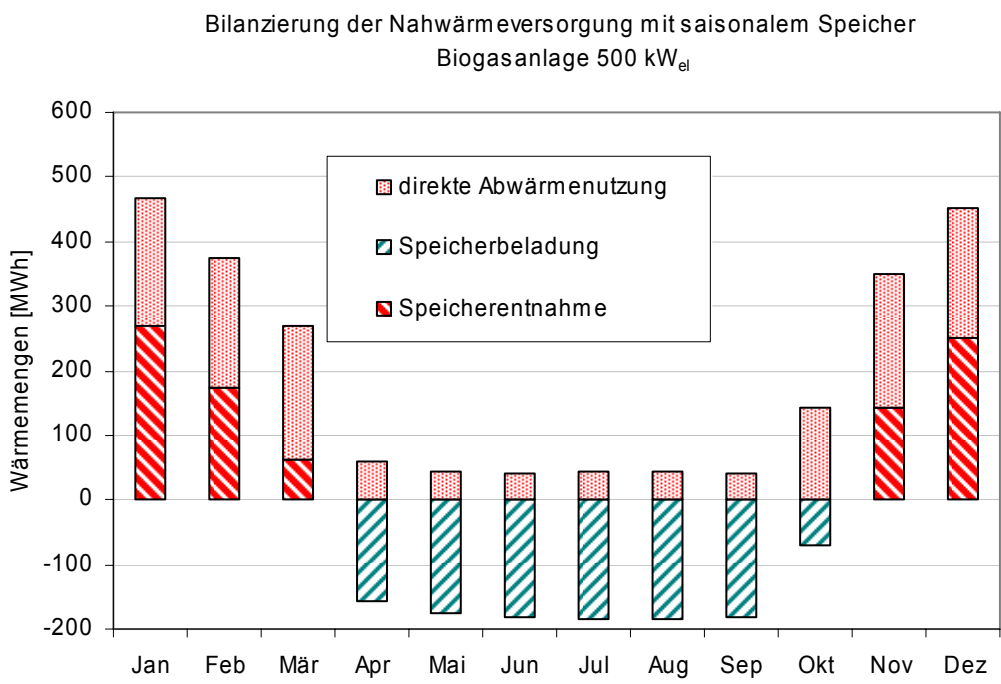


Abbildung 5-4: Nahwärmeversorgung von 135 Häuser mit einem saisonalem Speicher

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.

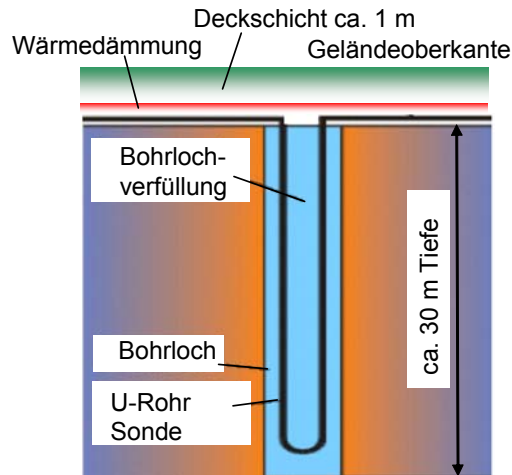


Abbildung 5-5: Aufbau eines saisonalen Erdwärmesondenspeichers. Dargestellt ist eine Erdsonde.

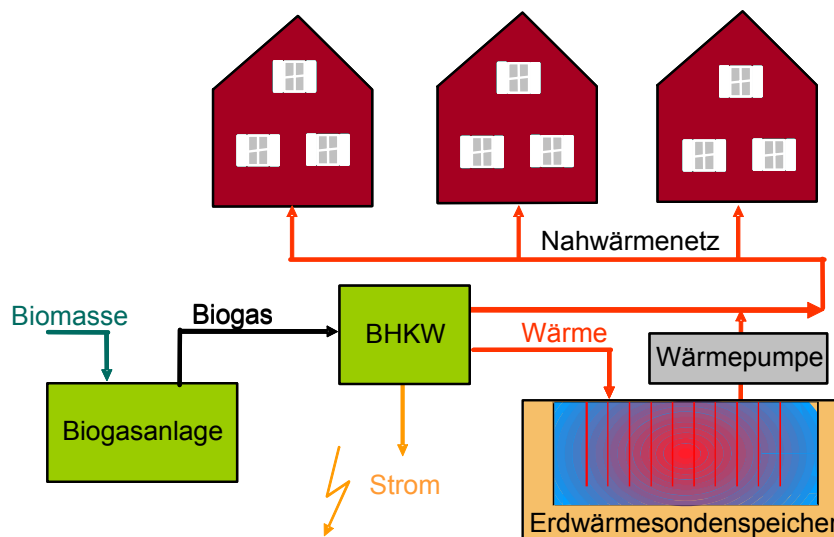


Abbildung 5-6: Prinzipschema einer Nahwärmeversorgung mit saisonalem Erdwärmesondenspeicher

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.

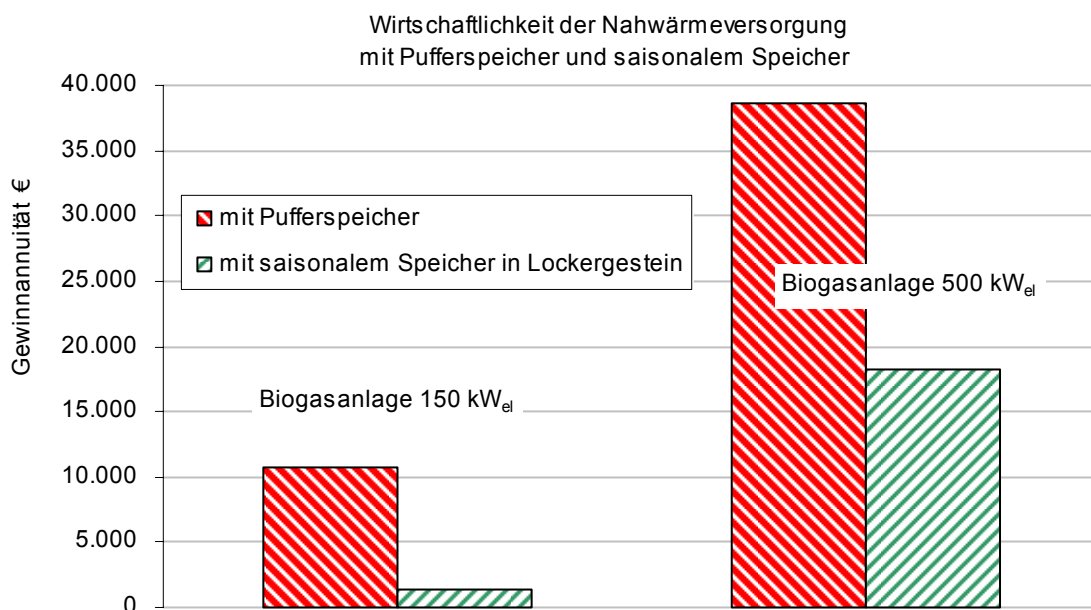


Abbildung 5-7: Gewinnannuität der Nahwärmeversorgungskonzepte mit und ohne saisonale Speicherung bei einem Wärmeerlös von 60 €/MWh. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

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.

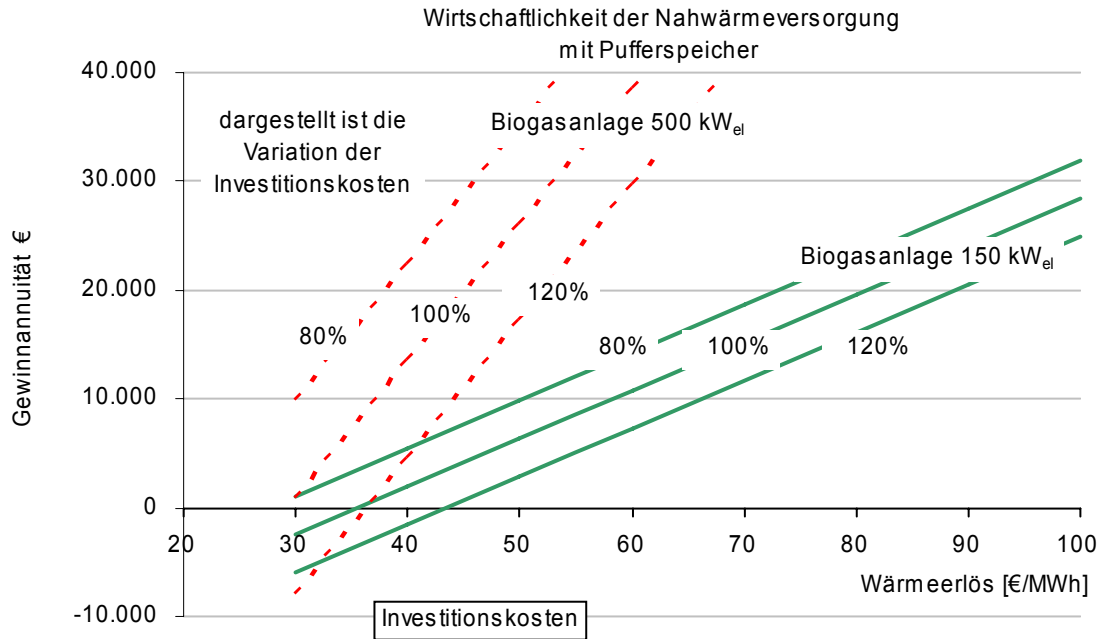


Abbildung 5-8: Gewinnannuität der Nahwärmeversorgungskonzepte mit Pufferspeicher in Abhängigkeit vom Wärmeerlös und Investition. Variiert werden die Investitionen (80 %, 100 %, 120 %).

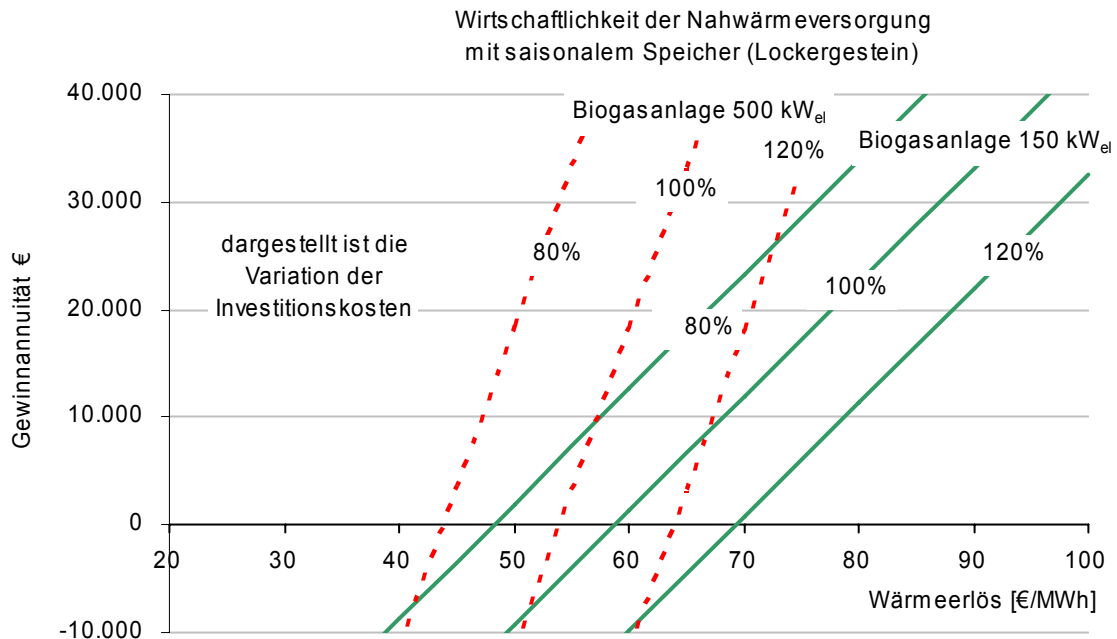


Abbildung 5-9: Gewinnannuität der Nahwärmeversorgungskonzepte mit saisonaler Speicherung in Lockergestein in Abhängigkeit vom Wärmeerlös und Investition (80 %, 100 %, 120 %).

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_{el} Biogasanlagen mit 100 % Investitionskosten aufgrund des Wärmeverkaufs und KWK-Bonus eine Gewinnannuität von ca. -10.000 €. Für die 150 kW_{el} ergibt sich ein ähnlicher Wert. Bei 60 €/MWh und 100 % der Investitionskosten ergibt sich bei 500 kW_{el} 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_{el} Biogasanlagen ist bei ausschließlicher Wärmelieferung über Latentwärmespeicher selbst mit günstigen Randbedingungen und Vergütung keine Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

Für die 500 kW_{el} 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.

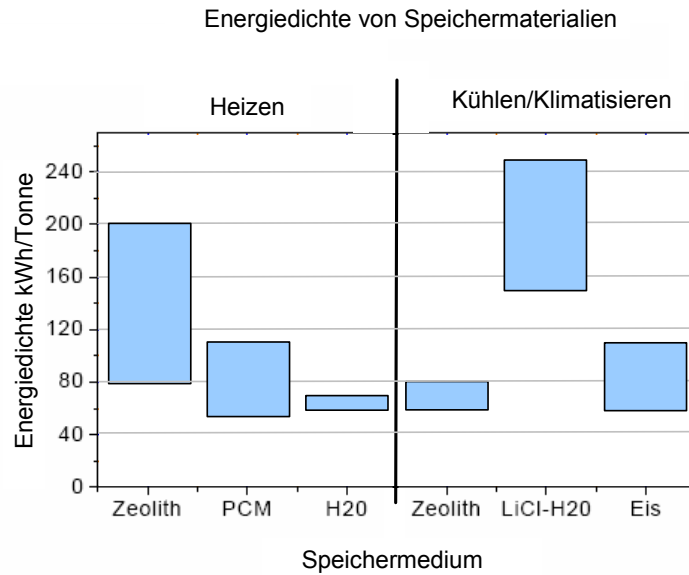


Abbildung 6-1: Energiespeicherdichten verschiedener Materialien

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.

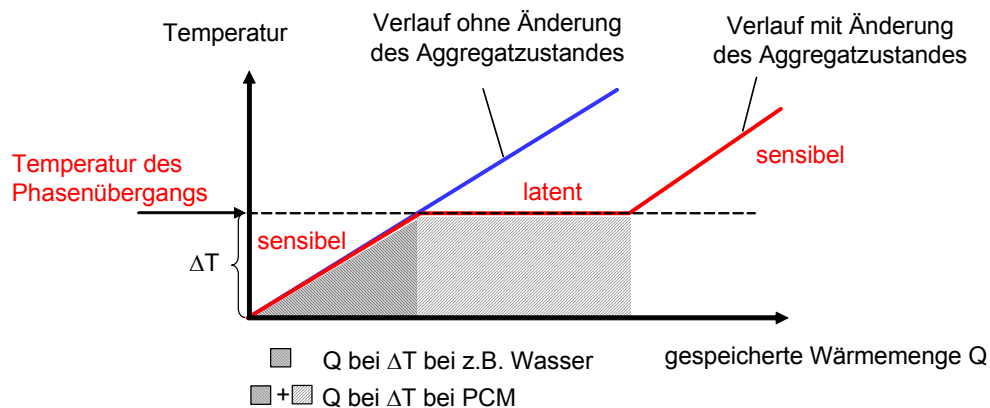


Abbildung 6-2: Speicherbare Wärmemenge bei sensibler und latenter Wärmespeicherung

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.

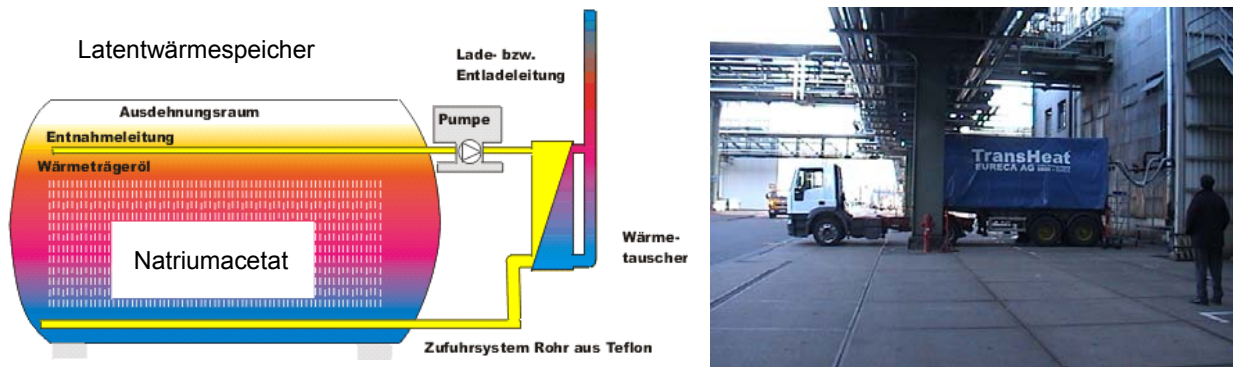


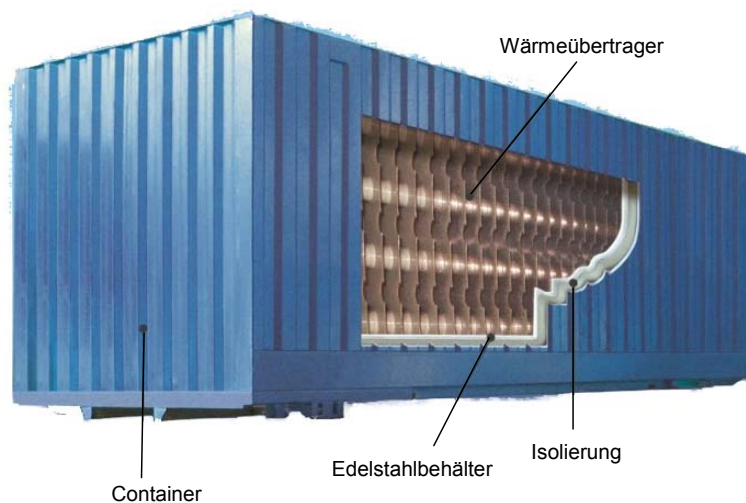
Abbildung 6-3: Prinzip des Latentwärmespeichers der Firma TransHeat (Quelle TransHeat)

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 °C .

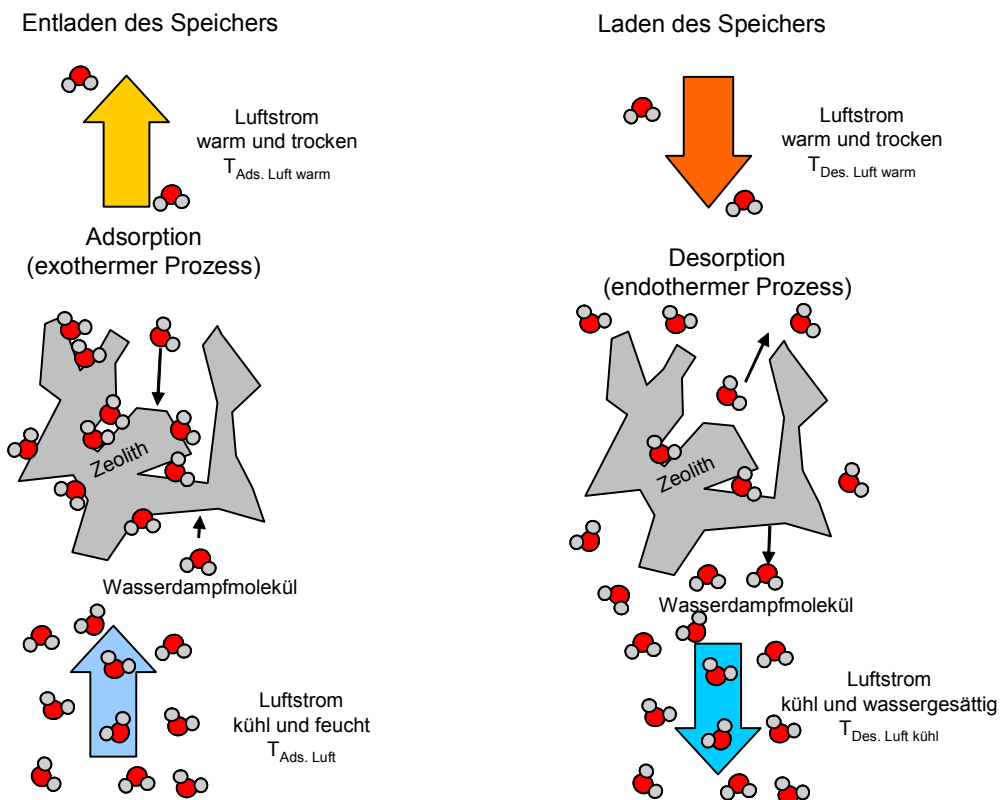


Abbildung 6-5: Funktion eines Zeolithspeichers, links Energieentnahme, rechts Energiespeicherung

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_{el} 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 Wärmeübertragung zu erhalten. Der Direktkontakt von PCM und Wärmeträgeröl ist beim TransHeat-System jedoch von Vorteil.

| Ladezeit | TransHeat Latentwärmespeicher | Schneider Latentwärmespeicher |
|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 150 kW _{el} | 24 h | 21 h |
| 500 kW _{el} | 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 _{el} | ca. 90 h |
| 500 kW _{el} | 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 _{el} [MWh/a] und Anteil in [%] am Abwärmepotenzial | | Energie bei 500 kW _{el} [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

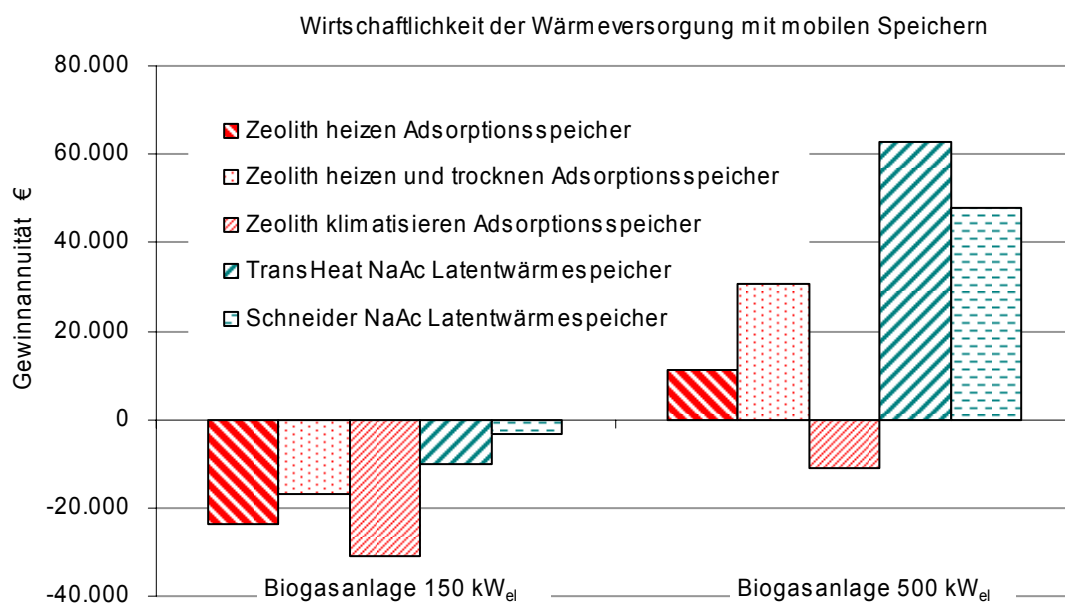


Abbildung 6-6: Gewinnannuität der mobilen Wärmespeicherkonzepte bei einem Wärmeerlös von 45 €/MWh, einfache Entfernung 10 km, NaAc ... Natriumacetat. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

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.

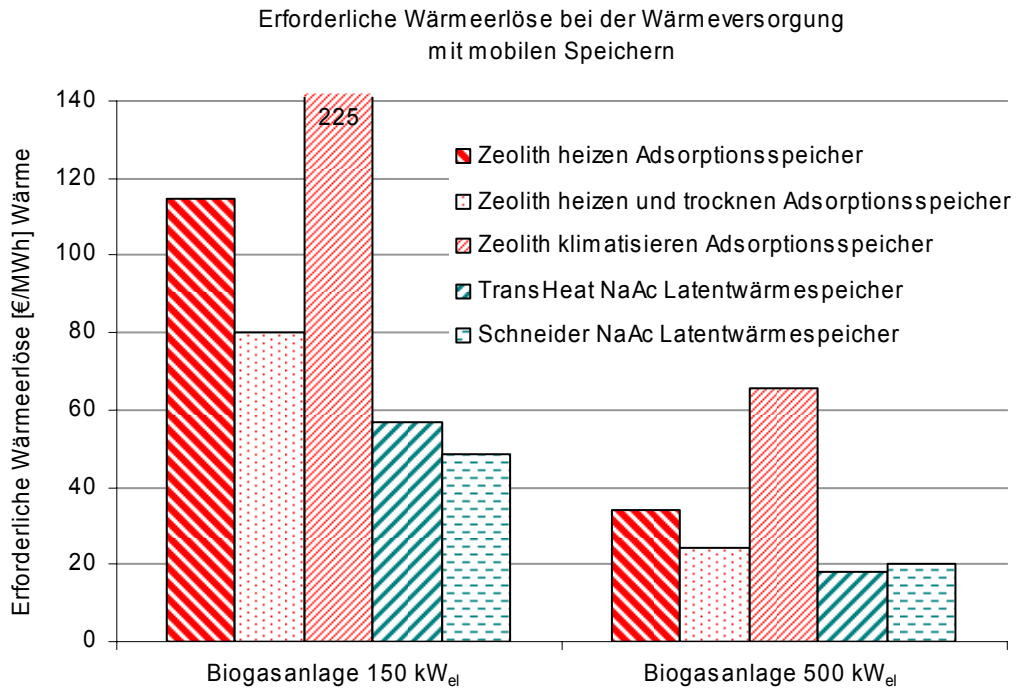


Abbildung 6-7: Mindestens notwendige Wärmeerlöse bei Nutzung der mobilen Speicherkonzepte und Abwärmenutzung der Biogas-Referenzanlagen, einfache Entfernung 10 km, NaAc ... Natriumacetat. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

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_{el} 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_{el} 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*m²) [Kubessa, 1998], damit ist ein etwa 560 m² 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.

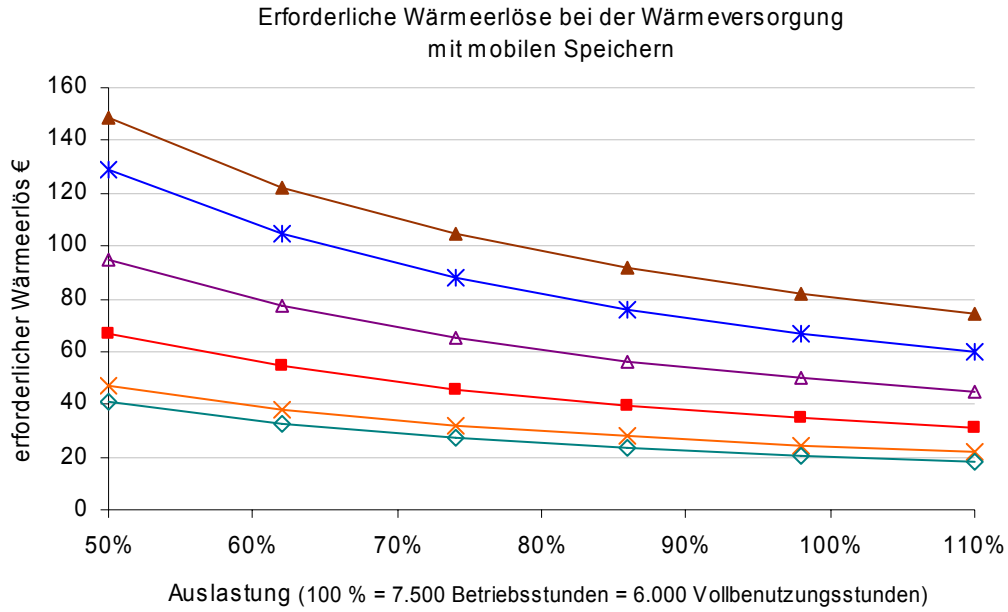


Abbildung 6-8: Erforderliche Wärmeerlöse in Abhängigkeit der Auslastung

- Zeolith heizen Adsorptionsspeicher 500 kW_{el}
- ▲ Zeolith heizen und trocknen Adsorptionsspeicher 150 kW_{el}
- × Zeolith heizen und trocknen Adsorptionsspeicher 500 kW_{el}
- * Zeolith klimatisieren Adsorptionsspeicher 500 kW_{el}
- △ Schneider heizen Latentwärmespeicher 150 kW_{el}
- Schneider heizen Latentwärmespeicher 500 kW_{el}

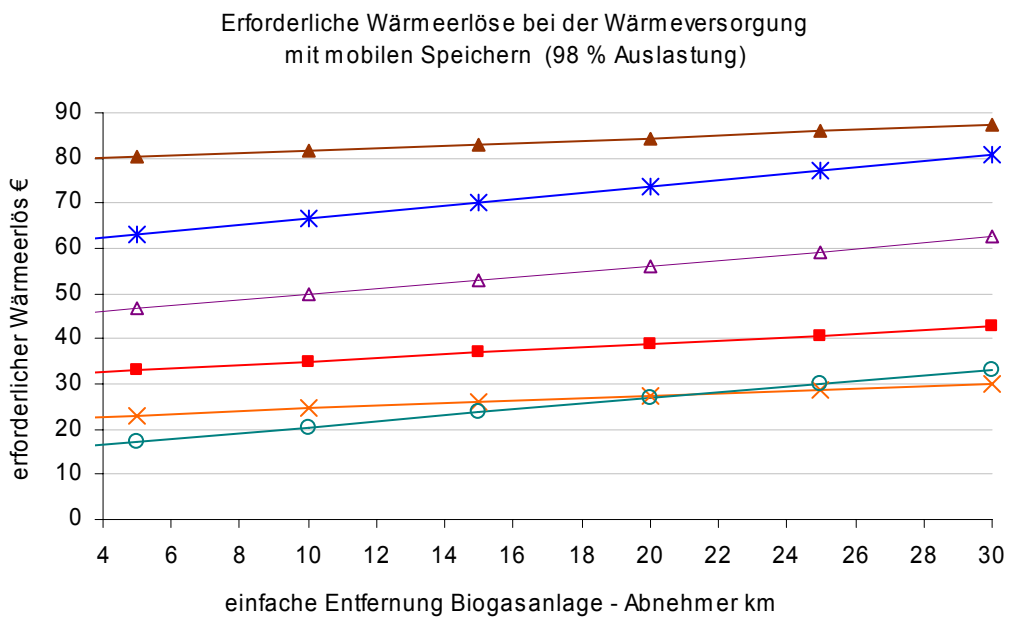


Abbildung 6-9: Erforderliche Wärmeerlöse in Abhängigkeit der Entfernung

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.

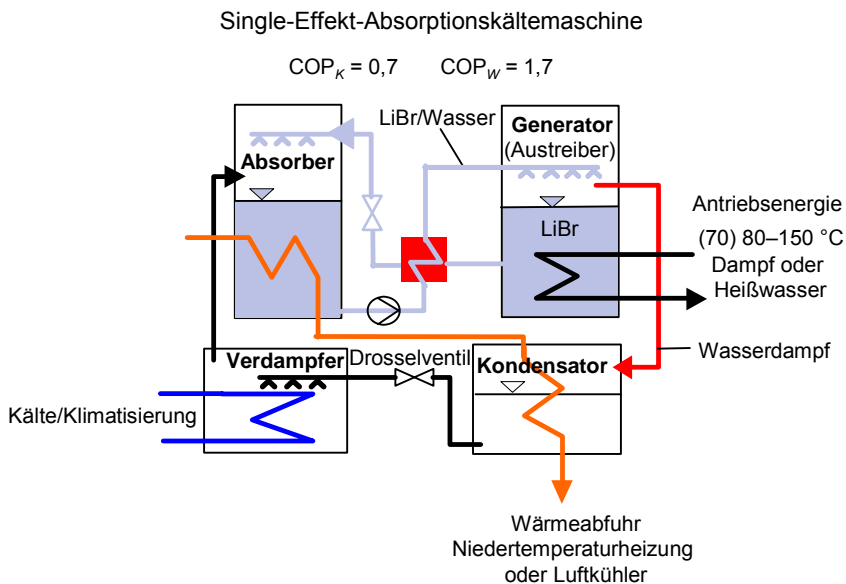


Abbildung 7-1: Absorptionskältemaschine

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 ε 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

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

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

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

Als Wärmepumpe gilt:

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

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

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

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

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 ε_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. Vollbenutzungstunden der Absorptionskältemaschine etwa 900 h/a.
- Grundlastkälteversorgung, BHKW und Absorptionskältemaschine werden zur Deckung des Grundlastbedarfs ausgelegt. Vollbenutzungstunden 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_{el} und 500 kW_{el} Referenzanlagen sowie eine weitere Variante zum Einsatz bei der 500 kW_{el} Biogas-Referenzanlage definiert.

| | Verbraucher | 150 kW _{el} Nutzfläche | 500 kW _{el} Nutzfläche | Kältemaschine | COP _K | Vollbenutzungsstunden Kühlung | Vollbenutzungsstunden Heizung |
|---|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | Gewerbeobjekt | 2.000 m ² | 5.000 m ² | SE | 0,75 | 1.600 | 3.200 |
| 2 | Gewerbeobjekt | 1.000 m ² | 2.500 m ² | 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 ² | DE/SE | 1,04 | 900 | 2.100 |

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

| | Verbraucher | | Kälteleistung 150 kW _{el} | Heizleistung 150 kW _{el} | Kälteleistung 500 kW _{el} | Heizleistung 500 kW _{el} |
|---|---------------|------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Gewerbeobjekt | Grundlastkälte | 95 kW _{Kälte} | 106 kW _{Heizen} | 280 kW _{Kälte} | 324 kW _{Heizen} |
| 2 | Gewerbeobjekt | Vollkältedeckung | 95 kW _{Kälte} | 106 kW _{Heizen} | 280 kW _{Kälte} | 324 kW _{Heizen} |
| 3 | Molkerei | Vollkältedeckung | 85 kW _{Kälte} | 106 kW _{Heizen} | 280 kW _{Kälte} | 324 kW _{Heizen} |
| 4 | Lagerhaus | Vollkältedeckung | 79 kW _{Kälte} | 106 kW _{Heizen} | 280 kW _{Kälte} | 324 kW _{Heizen} |
| 5 | Gewerbefläche | Vollkältedeckung | - | 106 kW _{Heizen} | 280 kW _{Kälte} | 324 kW _{Heizen} |

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 _{Heizen} |
| Kälteerlös -15 % im Vergleich zu Kältegestehungskosten von Kompressorkältemaschinen (siehe Tabelle 7-4) | 44–86 €/MWh _{Kälte} |

Tabelle 7-3: Betriebsdaten der untersuchten Kälteversorgungskonzepte

7.3 Wirtschaftlichkeit der Wärme- und Kälteversorgungskonzepte

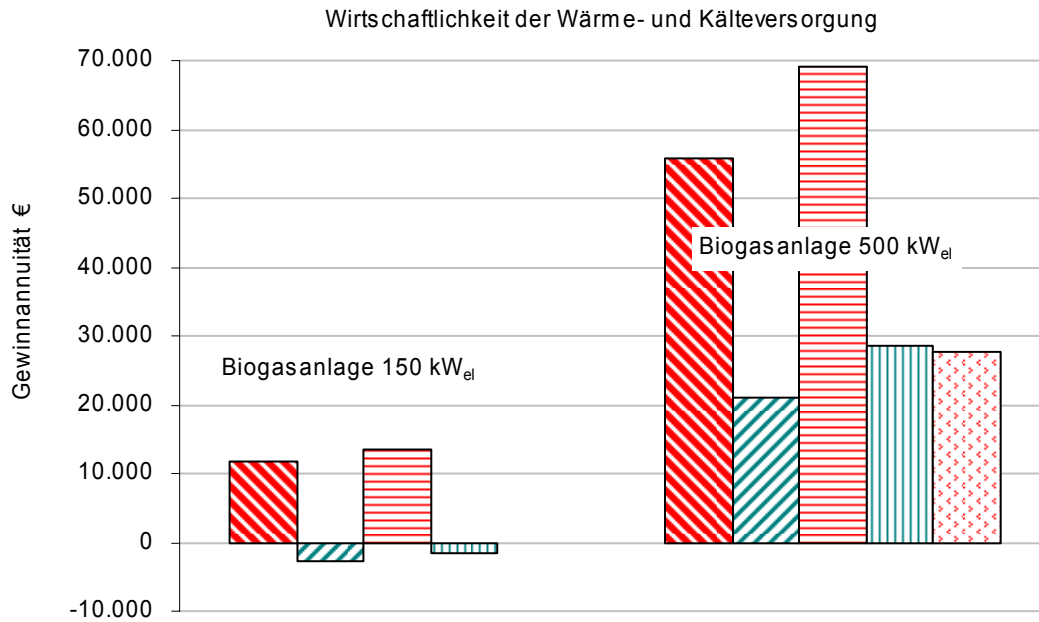
Die folgenden Tabellen zeigen die Kältegestehungskosten für eine Kälteerzeugung mit Kompressionskältemaschinen und mit Absorptionssystemen für die in Abschnitt 7.2 beschriebenen Nutzungsvarianten. Die jeweils ermittelten Gewinnannuitäten sind in Abbildung 7-2 dargestellt.

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

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

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

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 m² Gewerbe-
- 2 Gewerbeobjekt, Single-Effekt AKM, Vollversorgung Klimakälte, ca. 1.000 / 2500 m² 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_{el} Biogasanlage, Gewerbeobjekt 5.000 m²
- Verbraucher 3 Molkerei für 500 kW_{el} 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 €.

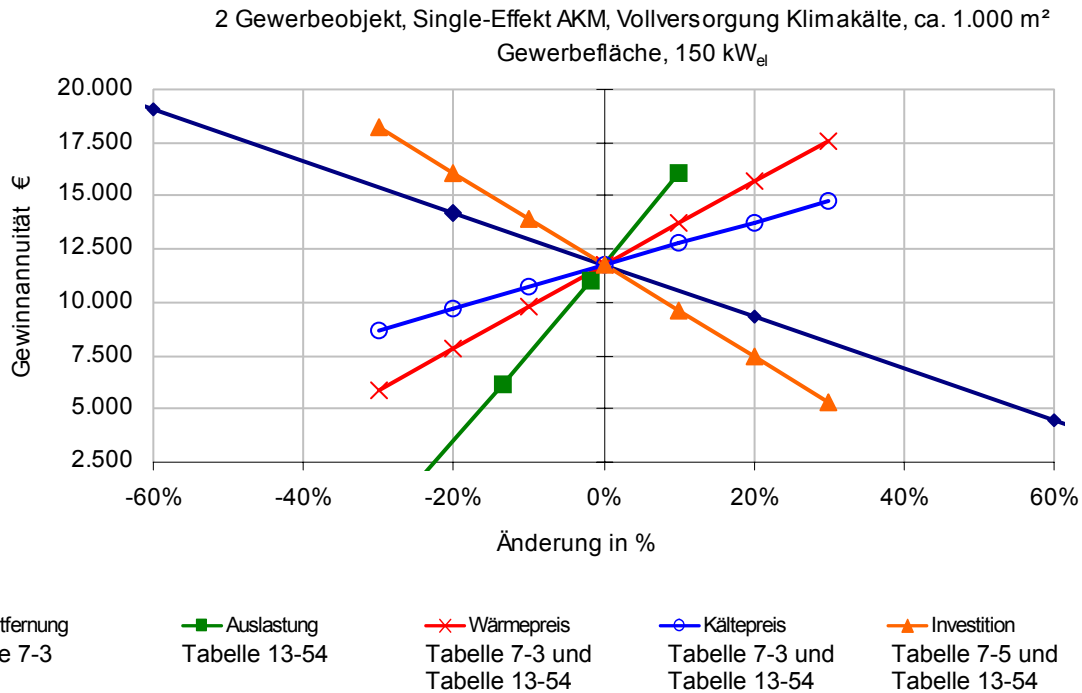


Abbildung 7-3: Sensitivität der Gewinnannuität, Verbraucher 2 Gewerbeobjekt für 150 kW_{el} Biogasanlage. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

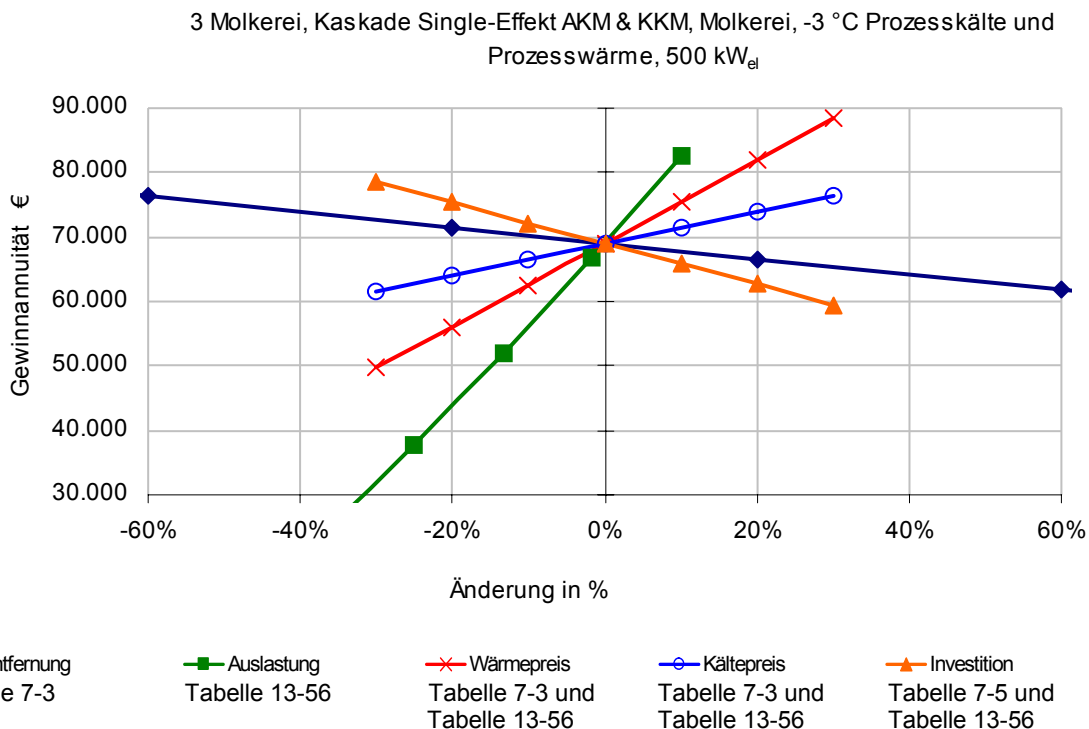


Abbildung 7-4: Sensitivität der Gewinnannuität, Verbraucher 3 Molkerei für 500 kW_{el} Biogasanlage. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

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_{el} 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_{el} 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_{el} 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_{el}. 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.

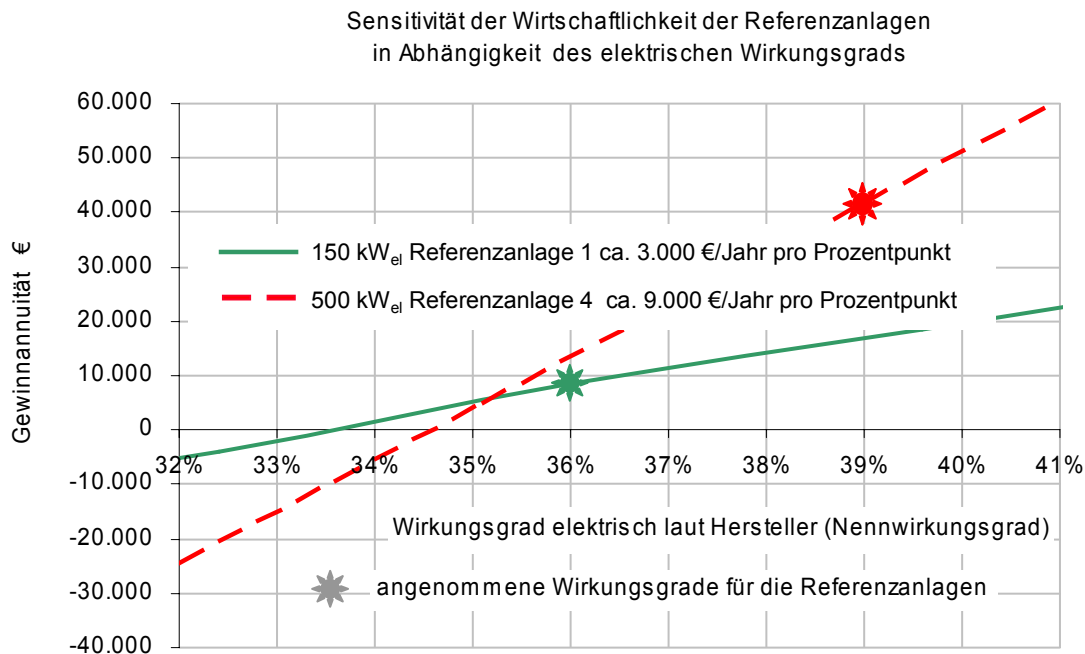


Abbildung 8-1: Sensitivität der Gewinnannuität bei Veränderung des Wirkungsgrades bei der 150 kW_{el} und 500 kW_{el} Anlage. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Biogasanlage auf Grundlage der Referenzanlage, der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

Lesebeispiel:

Die Gewinnannuität steigt bei der 150 kW_{el} Anlage bei einer Wirkungsgradsteigerung von 36 % auf 38 % von 8.000 € auf 14.000 €. Die Gewinnannuität wird bei der 150 kW_{el} Anlage bei Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades um einen Prozentpunkt um 3.000 € erhöht. Bei der 500 kW_{el} 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_{el} Leistung wird von einem elektrischen Nennwirkungsgrad von 39 %, bei 150 kW_{el} 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_{el} Referenzanlagen ein sehr effizienter **Zündstrahlmotor** mit einer Nennleistung von 180 kW_{el} und einem Wirkungsgrad von $\eta_{el, Nenn} = 41 \%$ bzw. $\eta_{el, real} = 38 \%$ betrachtet. Die höhere Nennleistung von 180 kW_{el} gegenüber 150 kW_{el} 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 Methanschlupf 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 _{el} , 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.

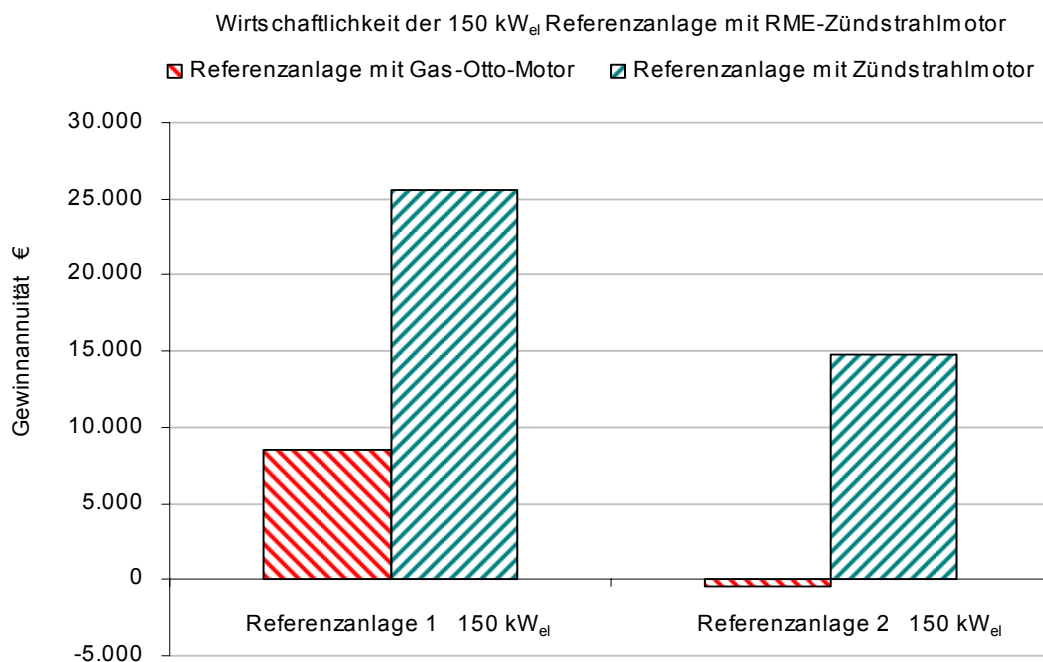


Abbildung 8-2: Wirtschaftlichkeit der Referenzanlagen 1 und 2 bei Nutzung eines Gas-Otto-Motors (jeweils links, $\eta_{el, Nenn} = 36\%$ bzw. $\eta_{el, real} = 33\%$) und im Vergleich bei Nutzung eines Zündstrahlmotor (jeweils rechts, $\eta_{el, Nenn} = 41\%$ bzw. $\eta_{el, real} = 38\%$). Berücksichtigt 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_{el} 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_{el} ist die Nachschaltung einer Wasserdampfturbine an das BHKW-Abgas Stand der Technik. Für den Leistungsbereich ≤ 1 MW_{el} 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_{el} 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_{el} Motoren in Betracht.

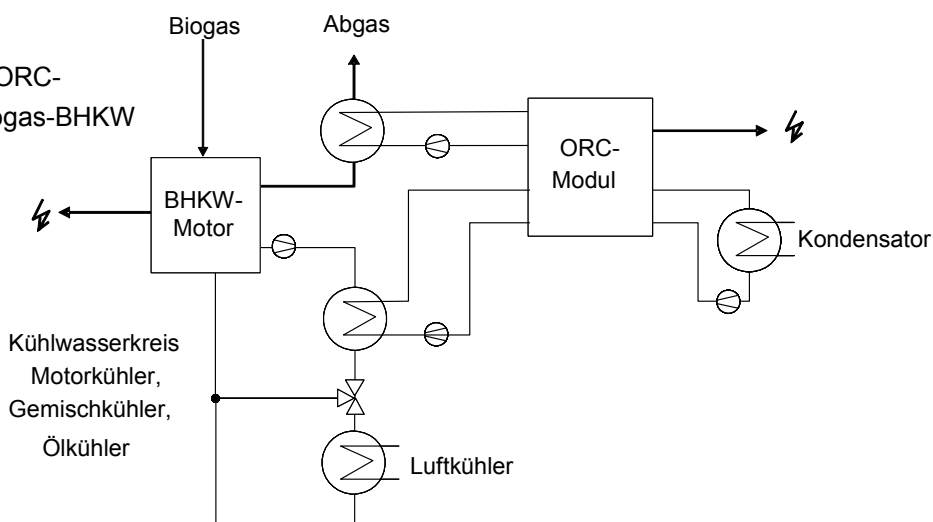
Die technische Realisierung der Nachschaltung von ORC-Anlagen an das Abgas von Biogas-BHKWs ist prinzipiell gelöst, da ORC-Aggregate mit Leistungen ab ca. 300 kW_{el} seit längerem (z. B. Turboden, GMK) auf dem Markt sind. Die ORC-Anlagen können in einem Container vorgefertigt und in der Nähe des BHKW-Motors 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_{el}. 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 _{el} und 7.500 Vollbenutzungsstunden (entspricht Referenzanlage 3 und 4) |
| Genutzte Abwärmeleistung bei 150 °C Abgastemperatur aus Abgas und Motorkühlung 285 kW _{th} |
| ORC mit Wärmezufuhr über Abgas-Thermoöl-Wärmeübertrager |
| ORC-Leistung 46 kW _{el} brutto, Eigenstrombedarf 8 kW _{el} zu 12 ct/kWh _{el} (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.

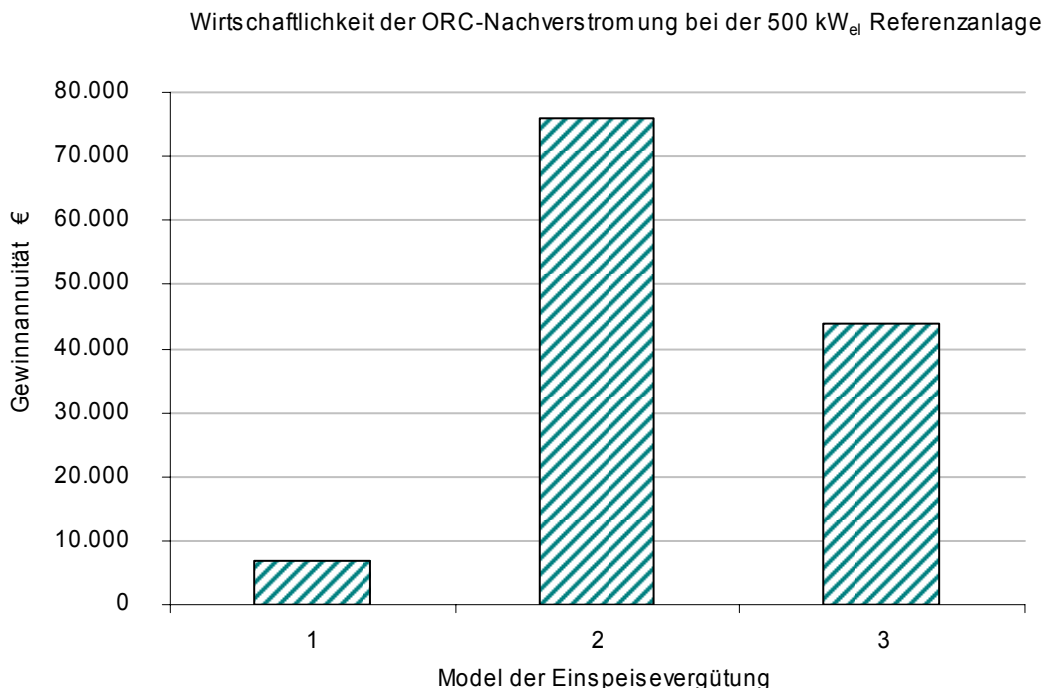


Abbildung 8-4: Wirtschaftlichkeit einer Nachverstromung mit einem 50 kW_{el} ORC-Modul auf der Basis des EEGs, Vergütungsmodell 1, 2 und 3. Als Vergütungsbasis wird die Vergütung in 2008 gewählt, da ORC-Anlagen erst seit 2007 zur Verfügung stehen. Berücksichtigt sind alle zusätzlichen Kosten und Einnahmen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

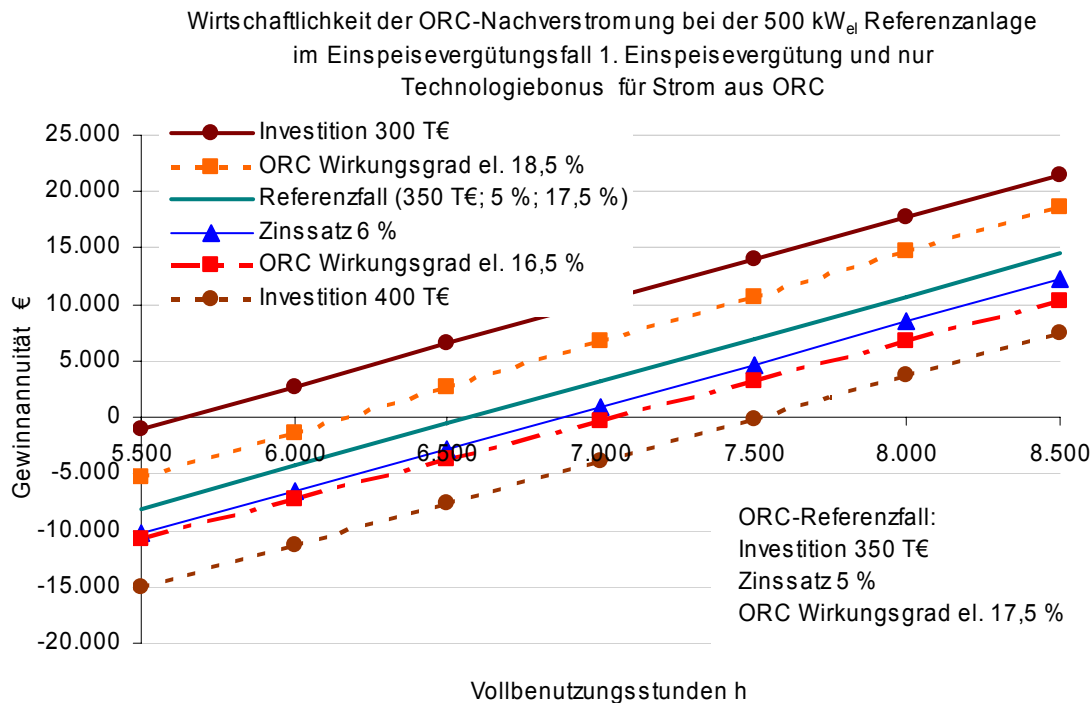


Abbildung 8-5: Wirtschaftlichkeit und Sensitivität auf verschiedene Parameter. Nachverstromung mit einem 50 kW_{el} ORC-Modul auf der Basis des EEGs, Vergütungsmodell 1. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen aufgrund der Wärmenutzungsvariante auf Basis der Vergütung im Jahr 2008.

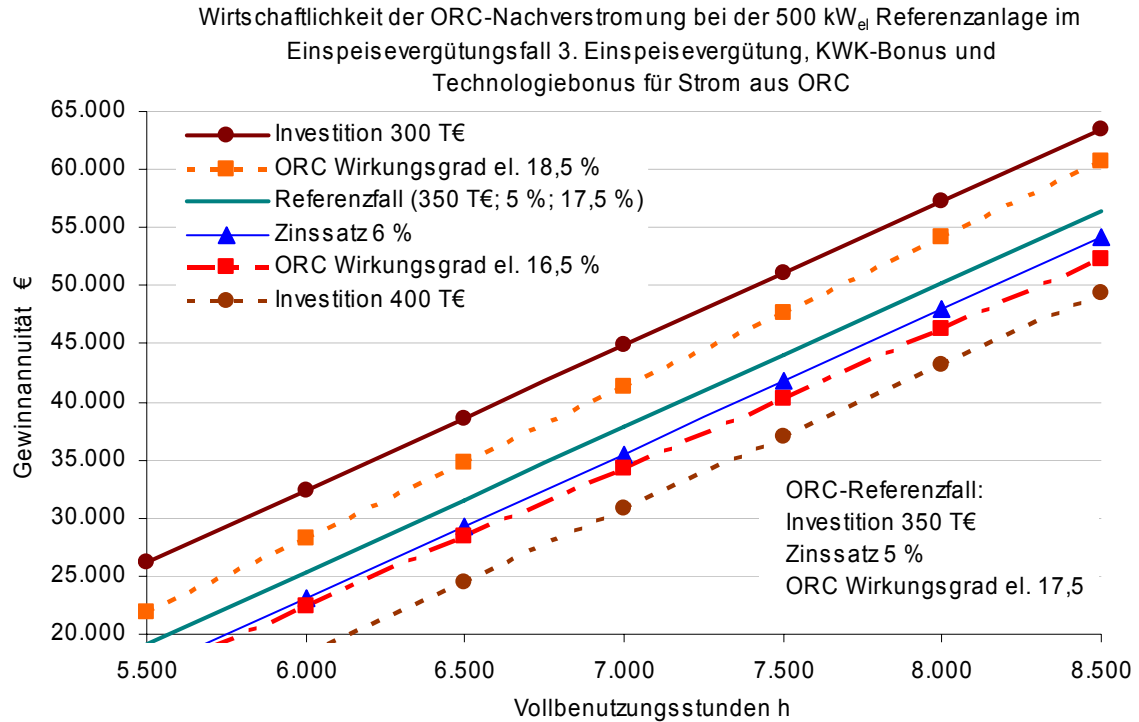


Abbildung 8-6: Wirtschaftlichkeit und Sensitivität auf verschiedene Parameter. Nachverstromung mit einem 50 kW_{el} ORC-Modul auf der Basis des EEGs, Vergütungsmodell 3. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen aufgrund der Wärmenutzungsvariante auf Basis der Vergütung im Jahr 2008.

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_{el} 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_{el}.

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 _x -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 ₂ -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_{el}, 60 kW_{el}
- API Com srl (ehemals Turbec); 95 kW_{el}

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_{el} (100 kW_{el}) bis 2.000 €/kW_{el} (30 kW_{el}). Hinzu kommen Kosten für Fundamente (Bau), hydraulische und elektrische Einbindung und Planung, sodass die Kosten auf über 2.000 €/kW_{el} (100 kW_{el}) bis 2.700 €/kW_{el} (30 kW_{el}) 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_{el}) bis 1,1 (100 kW_{el}) ct/kWh_{el}. Das ist im Vergleich zu Kolbenmotoren etwa die Hälfte der Wartungskosten.

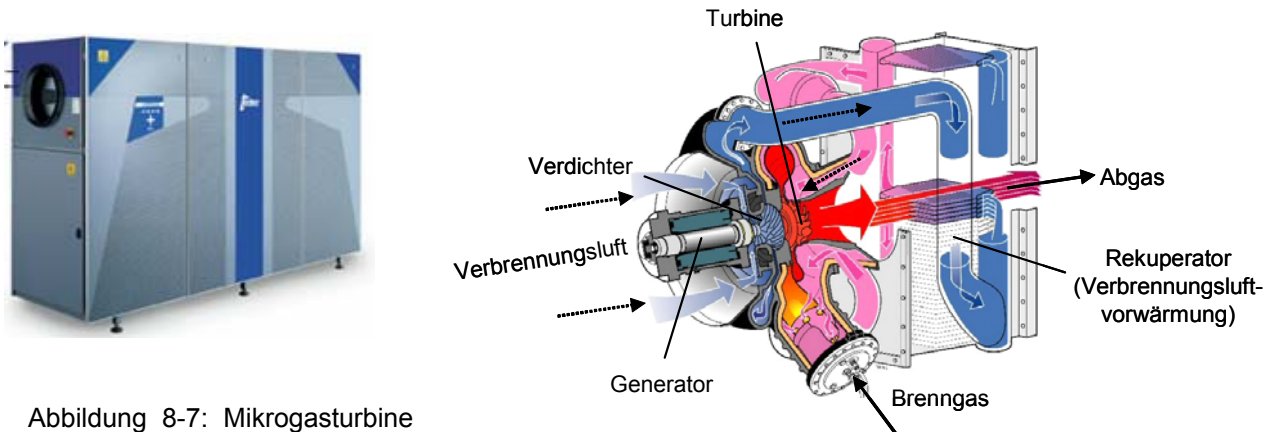


Abbildung 8-7: Mikrogasturbine Turbec T 100, Bauform und Funktionsweise

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_{Brst} und liegt deutlich unter der Vergleichsleistung des Motor-BHKWs für die 150 kW_{el} Biogas-Referenzanlage (416 kW_{Brst}).

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

- Trocknung landwirtschaftlicher Güter im direkten Abgasstrom [Grundke, 2003]
- Direkte Düngung mit CO₂ 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 H₂ 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 CO₂-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 CO₂-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_{el} NawaRo-Anlage ohne Wärmenutzung bei der Stromproduktion ein Fehlbetrag von etwa -1 ct/kWh_{el} ergibt, während die vergleichbare Anlage mit Gasaufbereitung und Einspeisung ins Erdgasnetz durch verbesserte Wärmenutzung auf einen Kostendeckungsbetrag von etwa +2 ct/kWh_{el} kommt [IE, 2005] [WInst, 2005]. Die Einspeisungsvariante ins Erdgasnetz sollte also im konkreten Einzelfall bereits ab einer Anlagengröße von 500 kW_{el} 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_{FS} und Kosten von 55 €/t angesetzt.

| | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
|--|----------------------|----------------------|
| zwei BHKW | | |
| BHKW 1 zur Fermenterbeheizung | 25 kW _{el} | 90 kW _{el} |
| BHKW 2 beim Wärmeabnehmer | 120 kW _{el} | 415 kW _{el} |
| Mehrinvestition gegenüber Referenzanlage | 275.000 € | 350.000 € |
| BHKW & Hackschnitzelkessel | | |
| Hackschnitzelkessel beim Fermenter | 50 kW _{th} | 140 kW _{th} |
| BHKW beim Wärmeabnehmer (wie Referenzanlage) | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
| 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

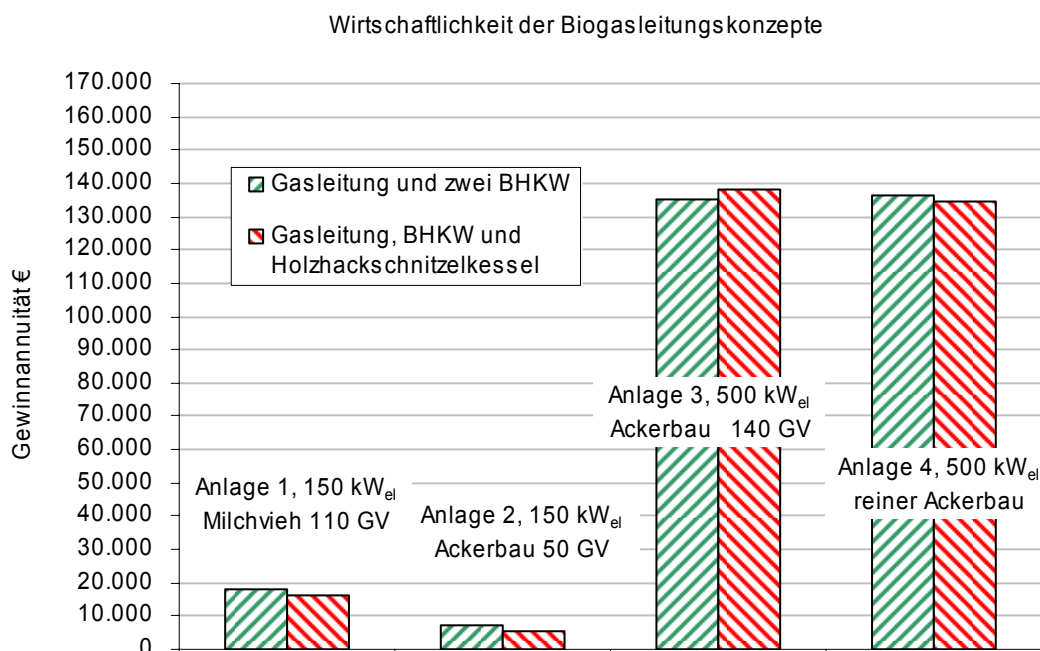


Abbildung 9-1: Gewinnannuität der Biogasleitungskonzepte. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Biogasanlage und der Wärmenutzungsvariante.

Beide Konzepte sind annähernd gleich gut. Die Biogasleitung ist wirtschaftlich interessant für die Anlagengröße 500 kW_{el} und darüber. Für die Wirtschaftlichkeit der Biogasleitung mit Holzhackschnitzelkessel wird eine Sensitivitätsbetrachtung für verschiedene Parameter durchgeführt.

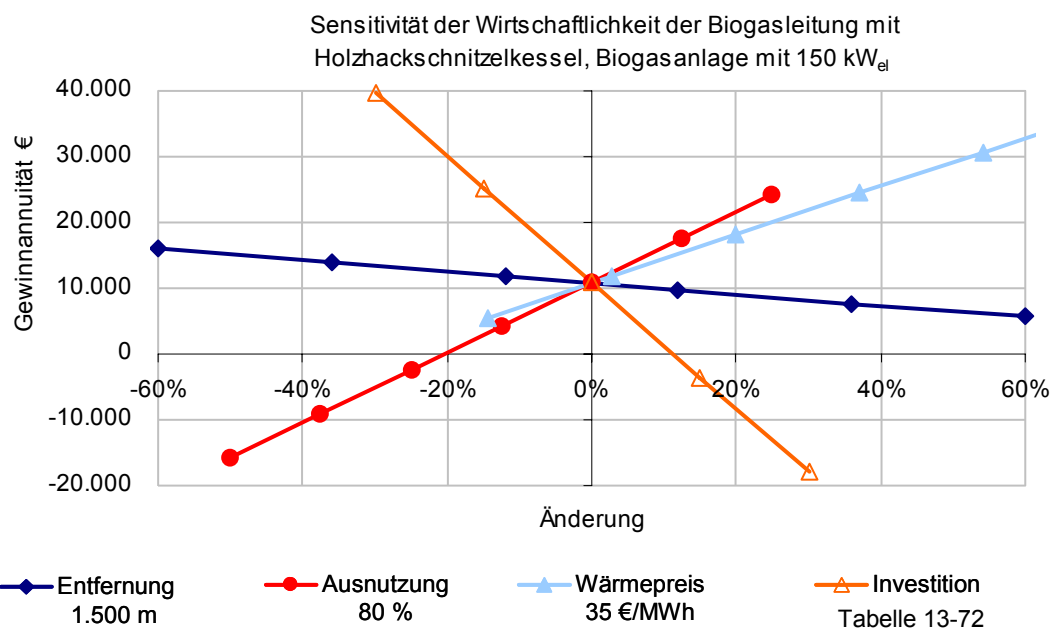


Abbildung 9-2: Sensitivität der Gewinnannuität, Biogasleitung mit Holzhackschnitzelkessel, Biogasanlage 150 kW_{el}. Berücksichtigt sind alle Kosten und Erlöse der Biogasanlage und der Wärmenutzungsvariante.

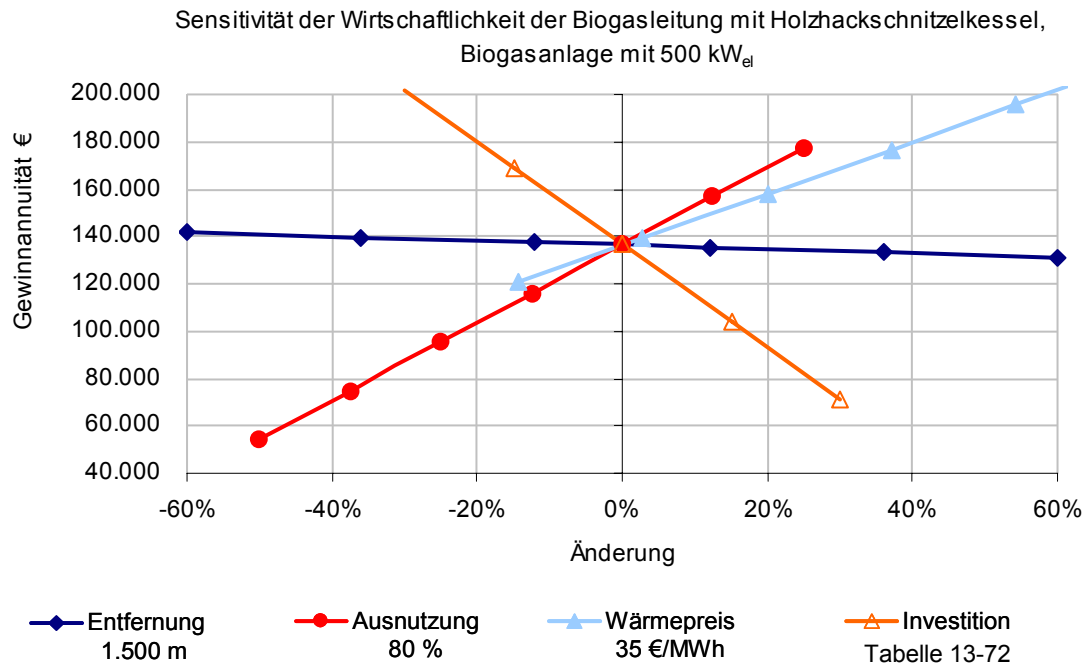


Abbildung 9-3: Sensitivität der Gewinnannuität, Biogasleitung mit Holzhackschnitzelkessel, Biogasanlage 500 kW_{el}. Berücksichtigt sind alle Kosten und Erlöse der Biogasanlage und der Wärmenutzungsvariante.

Lesebeispiel:

500 kW_{el} 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_{el} 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 _{el} | Wärmenutzung |
|-----------------|---------------------------|---|
| Fensterbach | 330 | Gärtnerei, Schloss, Nebengebäude, Getreide- und Holzhackschnitzeltrocknung, 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, Holzhackschnitzeltrocknung |
| 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_{el} Leistung in Betrieb genommen. 2006 wurde aufgrund von Überkapazitäten in der Gasproduktion das BHKW mit einem 526 kW_{el} 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_{FM} 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 m³ Schüttgut in einer Charge getrocknet werden.

Die Wärmelieferung aller Verbraucher ist über einen 12 m³ 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 ² | 350 kW |
| Getreidetrocknung | 30 Wochen im Sommer, belüftete Silos | 100 kW |
| Heizung Lackiererei | 200 m ² 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

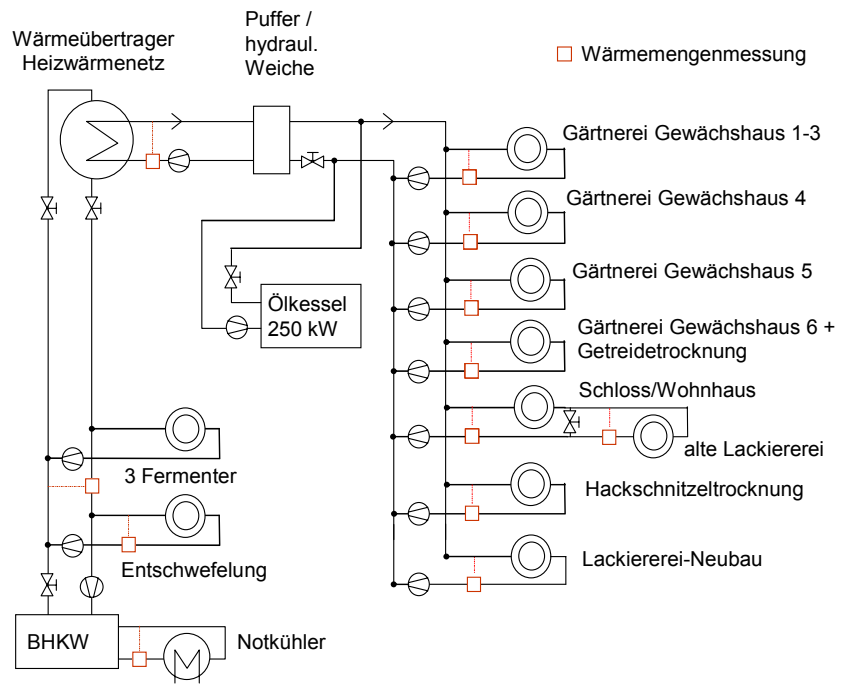


Abbildung 10-3: Anschlussschema der Abwärmeverbraucher



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_{el} Modul mit einer thermischen Leistung von 405 kW installiert. Zusätzlich kommt ein Zündstrahlmotor mit 340 kW_{el} 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.

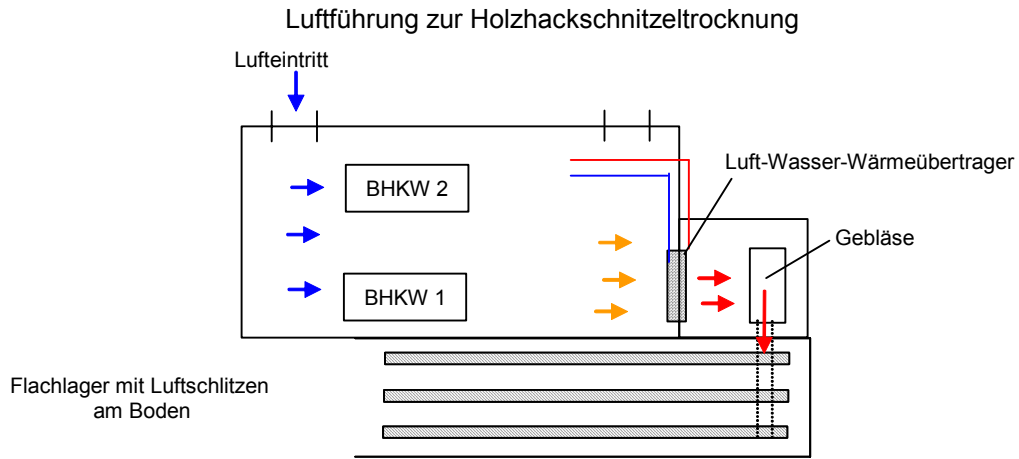
Die Abwärme des BHKWs deckt den Wärmebedarf des eigenen Wohnhauses, des Wohnhauses eines Nachbarn sowie die Heizung eines Aufzuchtstalls für Mastbullen. Diese Abnehmer befinden sich alle in einem Umkreis von 70 m. Die restliche Wärme wird zur Trocknung von Holzhackschnitzeln sowie gegebenenfalls weiterer 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 m³ 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 |

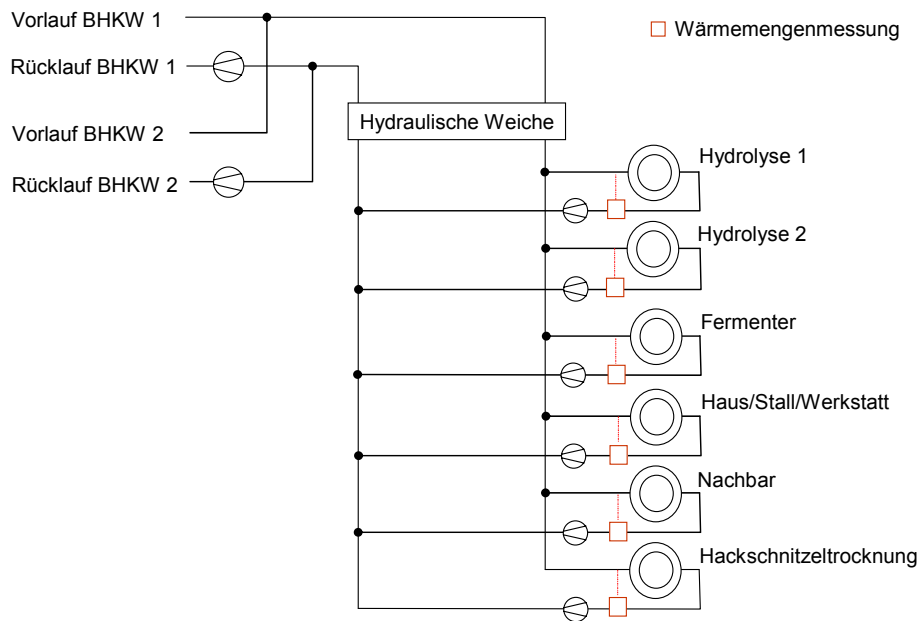
Tabelle 10-3: Wärmenutzung bei der Biogasanlage bei Bad Birnbach



Abbildung 10-5 Flachlager zur Holzhackschnitzeltrocknung



Wärmeverteilung Bad Birnbach



11 TREIBHAUSGASEMISSIONEN

11.1 Treibhausgasbilanz der Biogas-Referenzanlagen

Die energetische Biomassenutzung wird als klimaneutral angesehen, da der als CO₂ emittierte Kohlenstoff des Brennstoffs beim Wachstum der Pflanze aus der Luft in die Pflanzensubstanz eingebunden wird. Die verbrennungsbedingten CO₂-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 CH₄, Lachgas N₂O und Ammoniak NH₃ von Bedeutung. Die für die Berechnung verwendeten Faktoren für das Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential) dieser Gase betragen:

- CH₄: 23
- N₂O: 296
- NH₃: 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.

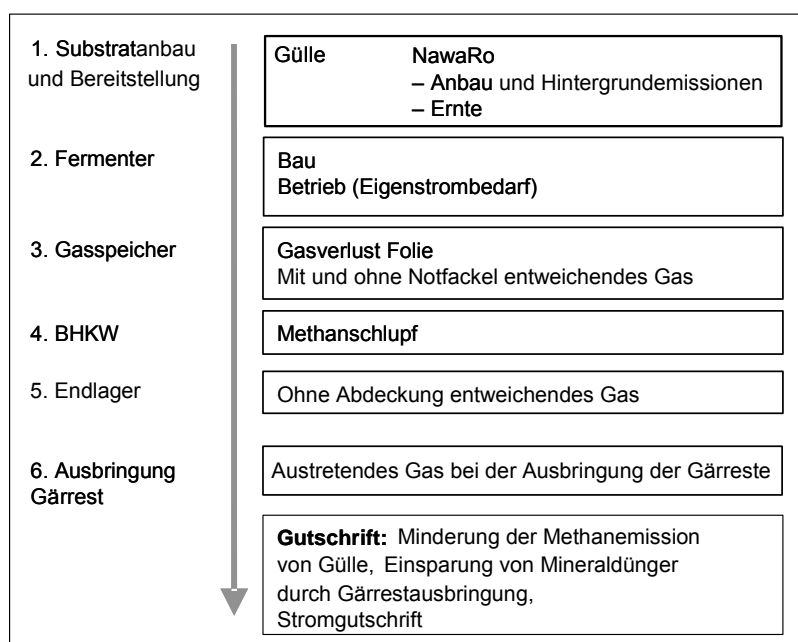


Abbildung 11-1: Prozessschritte der Biogaserzeugung mit Emissionen

In der Bilanz werden folgende Aspekte als CO₂-Gutschriften angerechnet:

- Vermiedene Methanemissionen durch Biogaserzeugung aus Gülle.
- Gutschrift für den vermiedenen Mineräldüngereinsatz.
- Gutschrift für Heizanwendung in den Referenzanlagen.
- Gutschrift für den CO₂ 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_{TM}/m³*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 CO₂-Äquivalente, in Abbildung 11-2 dargestellt. Direkt und indirekt verursachte Treibhausgasemissionen sind positiv aufgetragen, CO₂-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 CO₂-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_{el} und bei der Anlage 3 im Leistungsbereich von 500 kW_{el} 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 CO₂-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_{el} und 500 kW_{el} 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 CO₂-Emissionen auswirkt. Die spezifische CO₂-Einsparung je kWh_{el} in Abbildung 11-4 ist bei der Anlage 1 mit 150 kW_{el} im

Vergleich zu den 500 kW_{el} Anlagen aufgrund des höheren Gülleanteils am Substrat (vermiedene Methanemissionen durch Biogaserzeugung aus Gülle) höher.

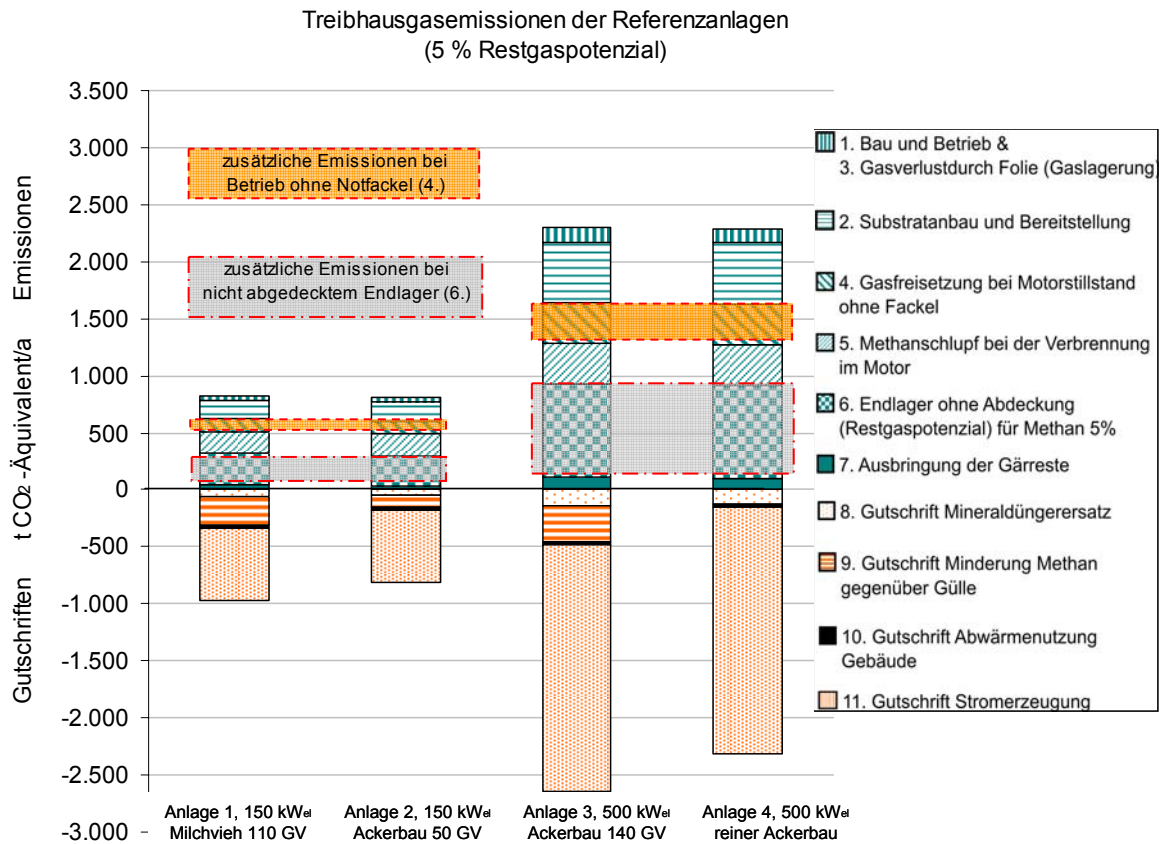


Abbildung 11-2: Absolute Treibhausgasemissionen der Referenzanlagen bei 5 % Restgaspotenzial

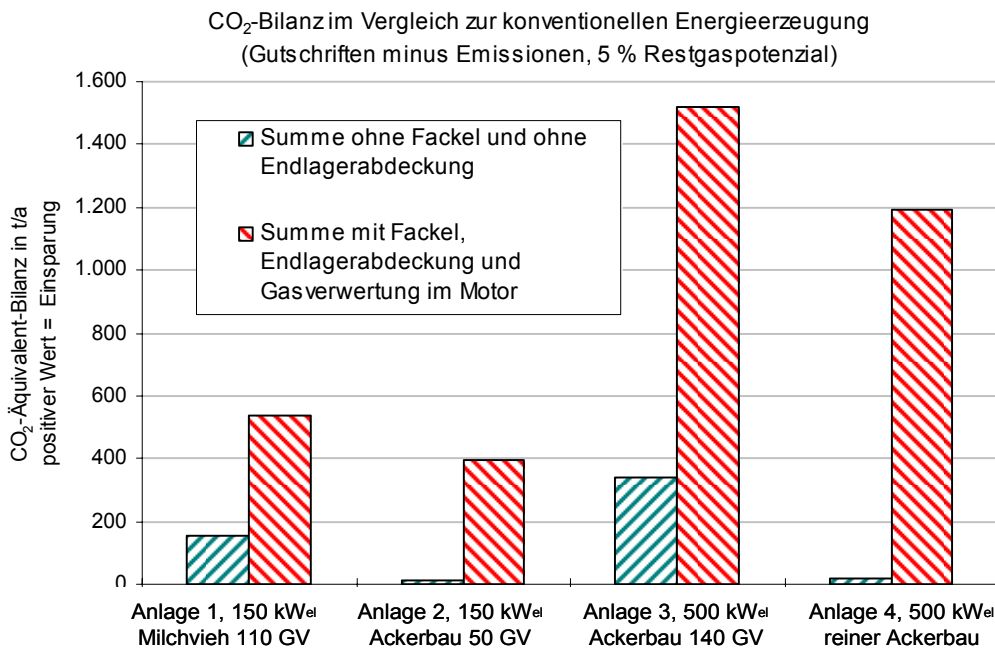


Abbildung 11-3: CO₂-Bilanz im Vergleich zur konventionellen Erzeugung bei 5 % Restgaspotenzial

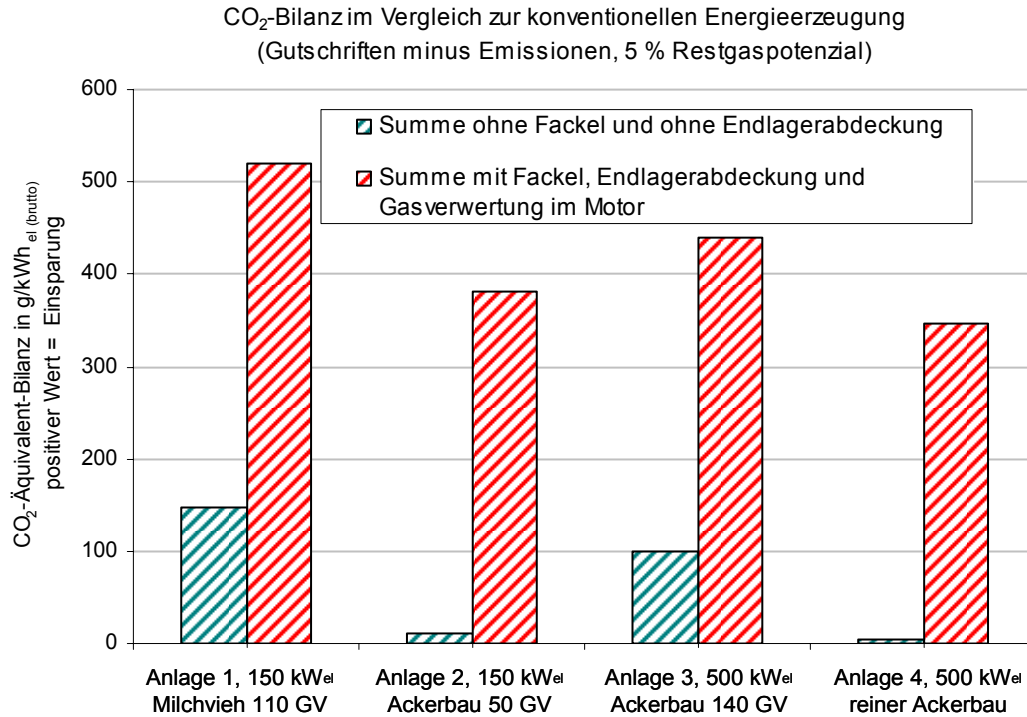


Abbildung 11-4: CO₂-Bilanz im Vergleich zur konventionellen Erzeugung bei 5 % Restgaspotenzial
 Zum Vergleich sind in den folgenden Abbildungen die Ergebnisse bei 10 % Restgaspotenzial dargestellt.

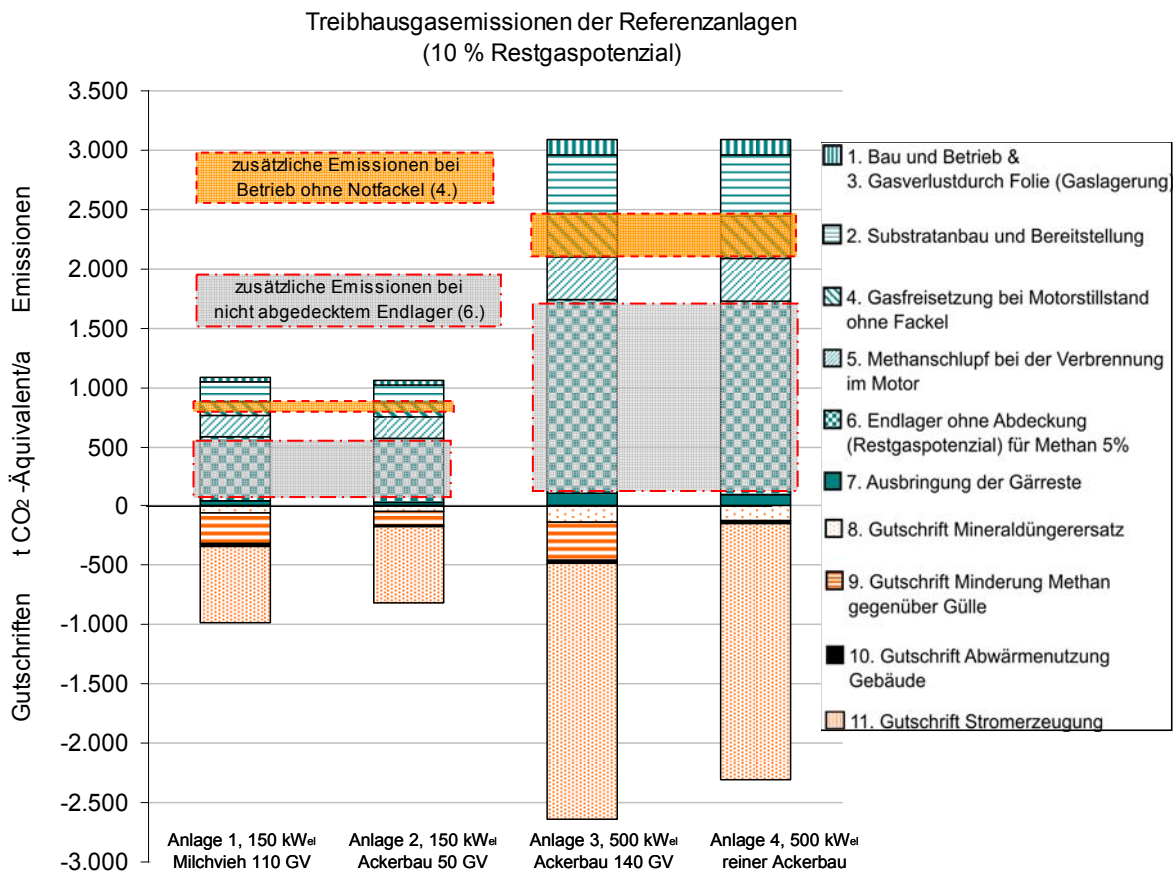


Abbildung 11-5: Absolute Treibhausgasemissionen der Referenzanlagen bei 10 % Restgaspotenzial

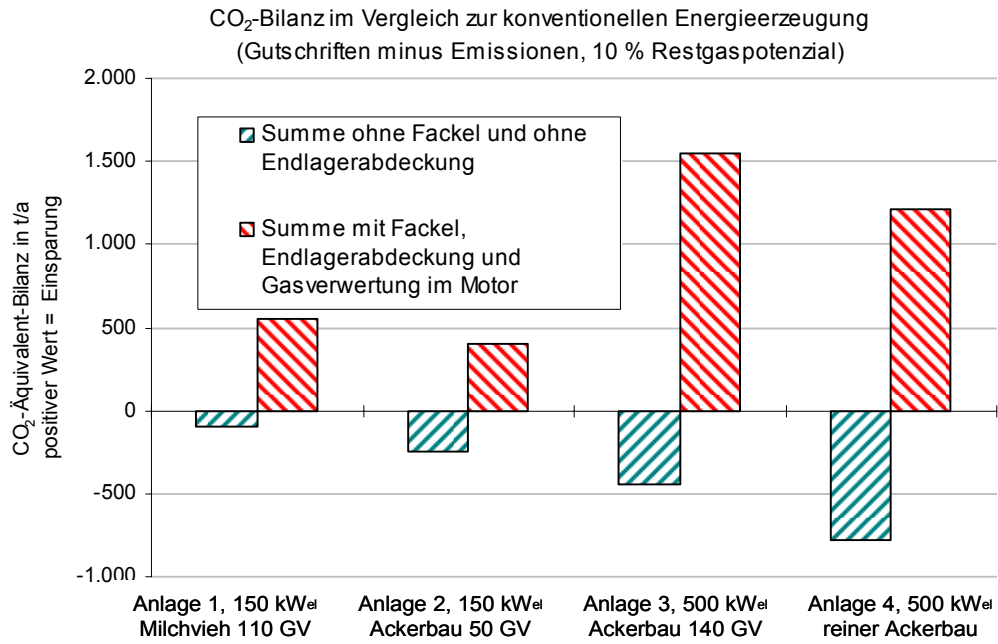


Abbildung 11-6: CO₂-Bilanz im Vergleich zur konventionellen Erzeugung bei 10 % Restgaspotenzial

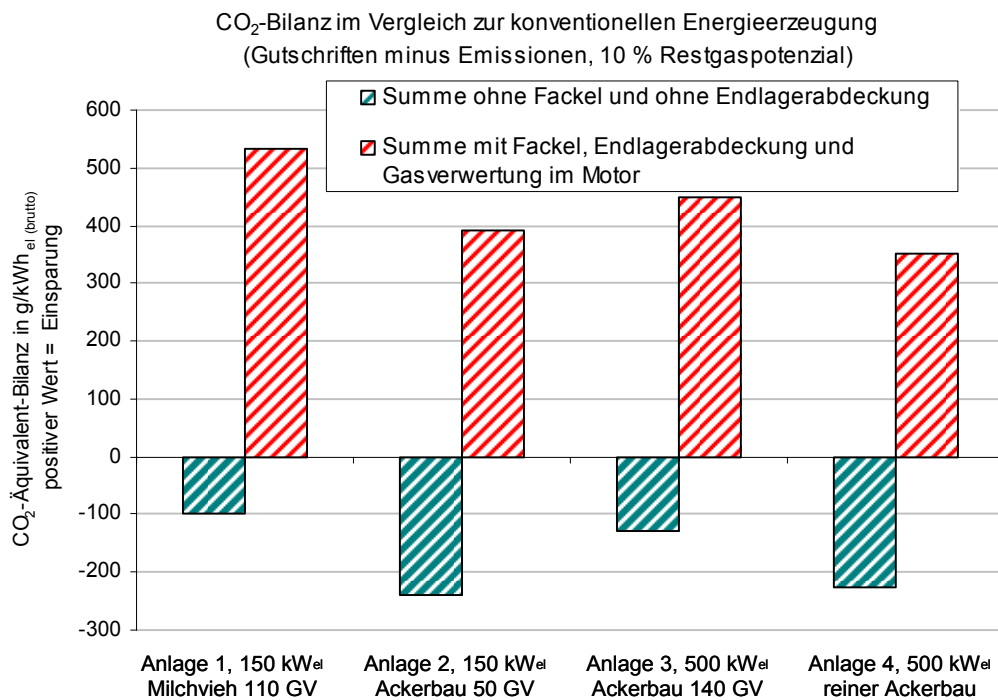


Abbildung 11-7: CO₂-Bilanz im Vergleich zur konventionellen Erzeugung bei 10 % Restgaspotenzial

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 CO₂-Äquivalent/kWh_{Brst}) 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 CO₂-Äquivalent/kWh_{Brst} unterstellt. Als Jahresnutzungsgrad für die Feuerung wurden 80 % angenommen.

Der Verbrauch an elektrischem Strom z. B. für Gebläse, Pumpen wird mit dem CO₂-Äquivalent von 625 g/kWh_{el} [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 CO₂-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 CO₂-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 CO₂ pro Liter RME berücksichtigt [Ludwig-Bölkow Systemtechnik, 2006]. Gegenüber Diesel mit 3.110 g CO₂ pro Liter entspricht das einer Einsparung von 2.000 g CO₂ 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
- [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
- [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, 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
- [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/, 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/, 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
- [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/
- [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
- [LfSD, 2005] Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, 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
- [Pecka, 2006] M. Pecka: Wärme und CO₂ 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, 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
- [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
- [Schockert, 2005] Schockert: Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Rheinpfalz, Mitteilung, 2005
- [Schollmeyer, 2002] H.-J. Schollmeyer: Neues Abgasreinigungsverfahren für BHKW mit CO₂-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, 2004
- [SWM, 2005] Stadtwerke München, www.swm.de
- [TransHeat, 2005] TransHeat, www.transheat.de
- [VDH, 2005] Verband Deutscher Hopfenpflanzer e. V., 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 CH₄, N₂O and NH₃ emissions from slurry management, in: J. Van Ham et al. (Hrsg.): *Non-CO₂ 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_{el}

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

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

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 ¹⁾ | [VDI, 2000] und eigene Annahmen* |
| Bau/Gebäude... | 50 Jahre | 2 % | ¹⁾ 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 _{el} | 15,5 ct/kWh _{el} | Statistisches Amt der Europäischen Kommission [Eurostat, 2005] |
| | 500 kW _{el} | 12,0 ct/kWh _{el} | |
| 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 _{FM} | | [FNR, 2004], [Keymer, 2005] inkl. Produktions-, Beschaffungs-, Silo-, Lager-, Aufbereitungs-, Transport-, Ausbringungskosten; mit Lohnansatz ohne Festkostenanteile |
| Milchviehgülle | 0 €/t _{FM} | | |
| Maissilage | 28 €/t _{FM} | | |
| Grassilage | 33 €/t _{FM} | | |
| Getreide-Ganzpflanzensilage | 33 €/t _{FM} | | |
| Getreidekörner (Triticale) | 97 €/t _{FM} | | |

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 _{el} $\leq 500 \text{ kW}_{\text{el}}$ 0,0975 €/kWh _{el} $\leq 5\text{--}20 \text{ MW}_{\text{el}}$ 0,0877 €/kWh _{el} Jährliche Degressionsfaktor 0,985 NawaRo-Bonus ... 6 ct/kWh _{el} KWK-Bonus ... 2 ct/kWh _{el} | | EEG |
| Düngerwerte des aus- gegorenen Substrates | €/t _{FM} | €/kg Dünger | [FNR, 2004], [Peretzki, 2005] |
| Milchviehgülle | 0,00 €/t _{FM} | 0,56 €/kg Stickstoff | |
| Maissilage | 3,57 €/t _{FM} | 0,55 €/kg Phosphat | |
| Grassilage | 5,42 €/t _{FM} | 0,28 €/kg Kalium | |
| Getreide-Ganzpflanzensilage | 2,87 €/t _{FM} | | |
| Getreidekörner (Triticale) | 10,33 €/t _{FM} | | |
| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
| Substrateinsatz | | | | | |
| Viehbestand | 110 | 50 | 140 | 0 | GV |
| Milchviehgülle | 1.757 | 799 | 2.237 | 0 | t _{FM} /a |
| Maissilage | 0 | 2.050 | 6.107 | 8.300 | t _{FM} /a |
| Grassilage | 1.800 | 0 | 0 | 0 | t _{FM} /a |
| Getreide-Ganzpflanzensilage mittlerer Körneranteil | 0 | 600 | 1.700 | 700 | t _{FM} /a |
| Getreidekörner (Tritikale) Methanausgleich für nicht Abdeckung | 268 | 118 | 489 | 209 | t _{FM} /a |
| Summe in Fermenter | 3.825 | 3.567 | 10.533 | 9.209 | t _{FM} /a |
| Vollbenutzungsstunden mit Leistung real | 7.500 | 7.500 | 7.500 | 7.500 | h/a |
| Fermentation | | | | | |
| Vollbenutzungsstunden Biogaserzeugung | 7.668 | 7.668 | 7.668 | 7.668 | h/a |
| Summe in Fermenter | 3.825 | 3.567 | 10.533 | 9.209 | t _{FM} /a |
| Summe TM in Fermenter | 1.102 | 1.087 | 3.311 | 3.201 | t _{TM} /a |
| Summe org. TM in Fermenter | 997 | 1.031 | 3.147 | 3.065 | t _{org TM} /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 _{FM} /a |
| Summe TM aus Fermenter | 421 | 388 | 1.157 | 1.045 | t _{TM} /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 _{TM} /(d*m ³) |
| Gärbehältervolumen (netto) | 1.248 | 1.291 | 3.939 | 3.837 | m ³ |
| Gärbehältervolumen realisiert (+12%) | 1.400 | 1.500 | 4.500 | 4.300 | m ³ |
| Zugeführter Volumenstrom | 17 | 15 | 45 | 44 | m ³ /d |
| Zugeführter Massenstrom | 12 | 11 | 33 | 29 | t/d |
| Verw eilzeit | 73 | 85 | 87 | 88 | d |
| Substratdichte vor Abbau | 0,76 | 0,76 | 0,75 | 0,66 | t/m ³ |
| Substratkosten | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | €/m ³ _{Biogas} |
| Gaserzeugung | | | | | |
| Erw arteter Gasertrag | 583.612 | 598.059 | 1.844.409 | 1.846.559 | Nm ³ /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 ³ /a |
| | 1.827 | 1.872 | 5.773 | 5.780 | Nm ³ /d |
| | 76 | 78 | 241 | 241 | Nm ³ /h |
| Tatsächliche Methanherzeugung | 320.743 | 320.555 | 988.579 | 987.896 | Nm ³ /a |
| Gasspeicher für 6 h | 450 | 460 | 1.440 | 1.440 | m ³ |
| Gasverlust durch Folie (Gaslagerung) (EPDM) | | | | | 0,10% |
| Verlust | 0,08 | 0,08 | 0,24 | 0,24 | Nm ³ /h |
| | 575 | 588 | 1.840 | 1.840 | Nm ³ /a |
| Gasverlust durch Fackeleinsatz bei Wartung | 7 | | | | d/a |
| | 12.336 | 12.643 | 38.970 | 39.017 | Nm ³ /a |
| | 2,1% | 2,1% | 2,1% | 2,1% | |
| Bruttoenergie im verbleibenden Biogas ¹ | 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | Einheit |
|--|--|--|---|---|----------------------|
| BHKW | | | | | |
| 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 ³ /h |
| theoretische tägliche Motorlaufzeit | 23 | 23 | 23 | 23 | h |
| Elektrische Leistung | | | | | |
| Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung) | 150 | 150 | 500 | 500 | kW _{el} |
| Leistung laut Herstellerwirkungsgrad | 150 | 150 | 500 | 499 | kW _{el} |
| Leistung real laut Wirkungsgrad el. real | 137 | 137 | 461 | 461 | kW _{el} |
| Thermische Leistung | | | | | |
| Leistung laut Herstellerwirkungsgrad | 200 | 199 | 577 | 576 | kW _{th} |
| Leistung laut Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste) | 187 | 187 | 538 | 538 | kW _{th} |
| Leistung ungenutzt (nach Abzug Abgasverluste, Gebäude- und Fermenterheizung) | 151 | 151 | 445 | 451 | kW _{th} |
| Gesamtfeuerungsleistung (Nennleistung) | 417 | 417 | 1.282 | 1.282 | kW _{Brsst} |
| Nutzenergieerzeugung | | | | | |
| Stromerzeugung real (7.500 Stunden * Leistung real) | 1.029 | 1.028 | 3.459 | 3.457 | MWh _{el} /a |
| Wärmeerzeugung exkl. Abgasverluste | 1.403 | 1.402 | 4.036 | 4.033 | MWh _{th} /a |
| Wärmeerzeugung exkl. Abgasverluste | 1.403 | 1.402 | 4.036 | 4.033 | MWh _{th} /a |
| davon Wärmenutzung (Fermenter und Gebäudebeheizung) | 267 | 267 | 698 | 651 | MWh _{th} /a |
| Wärmeerzeugung zusätzlich nutzbar nach Abzug Geb. und Fermenterb. | 1.136 | 1.135 | 3.338 | 3.382 | MWh _{th} /a |
| Stromkennzahl (Strom/Wärme) | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| Nutzungsgrad (genutzte Energie/Bruttoenergie im Biogas ¹) | 41,6% | 41,6% | 43,3% | 42,8% | |
| Eigenstromverbrauch 5% | 51.441 | 51.411 | 172.963 | 172.844 | kWh/a |
| Vollbenutzungsstunden | | | | | |
| 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 _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 500 kW _{el} | m ² |
| spez. Heizwärmebedarf landwirtschaftliche Gebäude | 140 | | | | kWh/(m ² a) |
| spez. Wärmewasserbedarf landwirtschaftliche Gebäude | 12,5 | | | | kWh/(m ² a) |

| Stoffdaten | |
|------------------------------|-----------------------------|
| Heizwert Methan | 9,94 kWh/(m _N ³) |
| Dichte Biogas | 1,2 kg/m ³ |
| Dichte Methan | 0,72 kg/m ³ |
| 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 ₂ O ₅ | K ₂ O | Düngewert |
|---|--------------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| | kg/t _{FM} | kg/t _{FM} | kg/t _{FM} | €/t _{FM} |
| 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 _{FM} | €/kg _{FM} | €/kg _{FM} | |
| 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 _N /kg _{oTM} | Nm ³ /t _{FM} | Nm ³ /t _{FM} | | t/m ³ | m ³ /t | kWh/(t K) | t/ha | t _{FM} /ha | €/t _{FM} |
| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| Investition je kW _{el} | 3.700 | 3.900 | 3.100 | 3.100 | €/kW _{el} |
| | 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 _{el} |
| | 132.000 | 132.000 | 308.000 | 308.000 | € |
| davon Motor | 250 | | | | €/kW _{el} |
| | 37.500 | 37.500 | 125.000 | 125.000 | € |
| Planung, Genehmigung, Netzanschluss (in den Investitionen enthalten) | 0% | | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | € |
| Gesamtinvestition | 555.000 | 585.000 | 1.550.000 | 1.550.000 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 591.439 | 606.065 | 1.631.810 | 1.631.810 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | 100% | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 68.226 | 69.826 | 185.984 | 185.984 | €/a |
| Investitionsannuitätkostenanteil | 37% | 36% | 34% | 33% | |
| Substratkosten | | | | | |
| 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 |
| 100% | 90.855 | 94.141 | 291.574 | 292.446 | €/a |
| Annuität Summe | 94.546 | 97.965 | 303.417 | 304.323 | €/a |
| Substratkostenanteil | 51% | 51% | 55% | 55% | |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromanteil Bedarf von Erzeugung | 5% | 5% | 5% | 5% | |
| Stromkosten | 7.973 | 7.969 | 20.756 | 20.741 | €/a |
| Annuität Summe | 10.214 | 10.208 | 26.589 | 26.571 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| Arbeitsstunden | 671 | 778 | 1.755 | 2.163 | h/a |
| Kosten für Anlagenbetreuung | 13,50 | 13,50 | 13,50 | 13,50 | €/h |
| 100% | 9.045 | 10.530 | 23.760 | 29.160 | €/a |
| Annuität Summe | 9.412 | 10.958 | 24.725 | 30.344 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 2.775 | 2.925 | 7.750 | 7.750 | €/a |
| Annuität Summe | 2.888 | 3.044 | 8.065 | 8.065 | €/a |

REFERENZANLAGEN ERLÖSE

| | | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|
| Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung | | | | | |
| 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% | |
| Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung | 4.026 | 4.026 | 6.442 | 6.442 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 734 | 734 | 1.358 | 1.358 | €/a |
| Erlös für Stromeinspeisung 2005 | | | | | |
| €/kWh _{el} | 1.029 | 1.028 | 3.459 | 3.457 | MWh _{el} /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 | € |
| Einnahmen Stromeinspeisung | 116.540 | 116.472 | 355.060 | 354.827 | €/a |
| Naw aro-Bonus | | | | | |
| | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | €/kWh _{el} |
| Naw aro-Bonus | 61.730 | 61.693 | 207.555 | 207.412 | €/a |
| Düngerwert | | | | | |
| | 10.287 | 8.251 | 25.251 | 25.894 | €/a |
| Düngerwert | 10.705 | 8.587 | 26.277 | 26.946 | €/a |
| Gew innannuität mit Preissteigerung | 8.449 | -488 | 47.912 | 41.698 | €/a |
| Gew innannuität ohne Preissteigerung | 16.098 | 7.477 | 71.332 | 65.342 | €/a |
| Stromgestehungskosten | 0,18 | 0,19 | 0,16 | 0,16 | €/kWh _{el} |

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

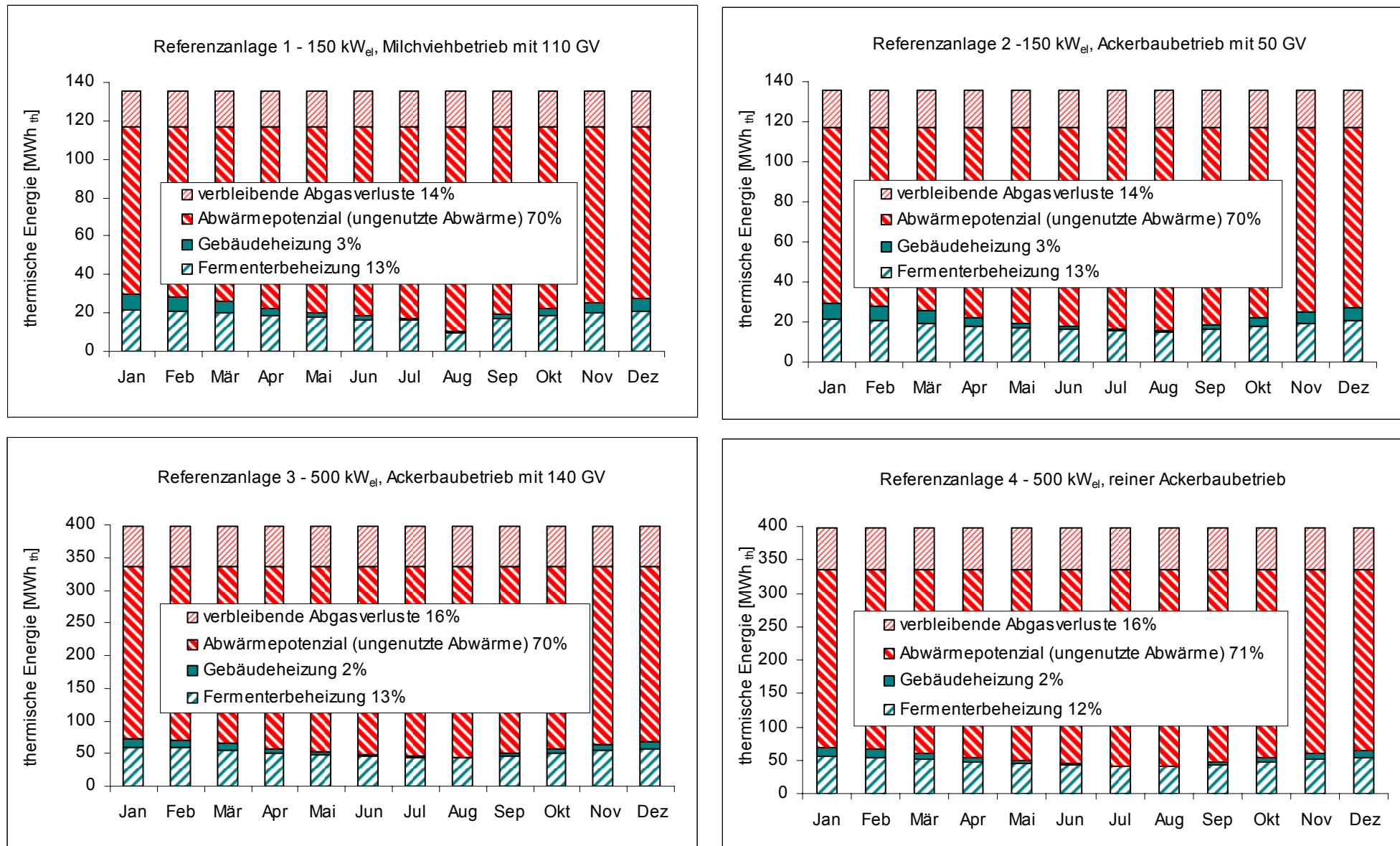


Abbildung 13-1: Wärmebilanzen der Referenzanlagen 1 bis 4, Werte sind Jahresdurchschnittswerte

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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
| HOLZHACKSCHNITZELTROCKNUNG KOSTEN | | | | | |
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 26.190 | 26.190 | 102.187 | 102.187 | € |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 25.977 | 25.977 | 100.523 | 100.523 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 2.659 | 2.659 | 10.070 | 10.070 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | 10 | 10 | 28 | 28 | kW _{el} |
| Stromverbrauch für den Betrieb | 31.875 | 31.875 | 133.875 | 133.875 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 4.941 | 4.941 | 16.065 | 16.065 | €/a |
| Annuität Summe | 6.329 | 6.329 | 20.580 | 20.580 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 5.488 | 5.488 | 12.347 | 12.347 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 131 | 131 | 511 | 511 | €/a |
| Annuität Summe | 136 | 136 | 532 | 532 | €/a |

Tabelle 13-9: Kosten Holzhackschnitzeltrocknung

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

Tabelle 13-10: Erlöse Holzhackschnitzeltrocknung

| Holzhackschnitzeltrocknung | Container od. Satzrockner | | Schubwendetrockner | |
|--|--|--|---|---|
| Referenzanlagen | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau |
| Stromleistung (Anschlusswert) | 10 | 10 | 28 | 28 kW _{el} |
| Stromgleichzeitigkeit | 85% | | | |
| Energiebedarf | 1,70 kWh _{th} /kg Wasser | | 1,45 kWh _{th} /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 ³ aus | | | |
| Schüttraummeter Srm FM | 2.688 | 2.702 | 13.968 | 14.153 Srm/h |
| Wärmeverbrauch | 565 | 568 | 2.503 | 2.536 MWh/a |
| Strombedarf | | | | |
| | 31.875 | 31.875 | 133.875 | 133.875 kWh _{el} |
| Anlagenbedienung | | | | |
| | 2 h/Tag | | 3 h/Tag | |
| | 391 | 391 | 879 | 879 h/Jahr |
| Holzhackschnitzeltrocknung Wertsteigerung | | | | |
| Wertsteigerung Holzhackschnitzel | 5,0 €/Srm | | | |
| Wertsteigerung Holzhackschnitzel | 15 €/t FM zu | | | |
| Wertsteigerung Produkt | 13.440 | 13.509 | 69.841 | 70.763 €/a |

Tabelle 13-11: Details Holzhackschnitzeltrocknung

13.3.2 Trocknungsprozesse für Getreide-Variante 1

| GETREIDETROCKNUNG KOSTEN | Dächerschachttrockner | | Dächerschachttrockner | | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
| Referenzanlagen | | | | | |
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 41.526 | 41.526 | 68.421 | 68.421 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert nach 20 Jahren | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 41.475 | 41.475 | 70.002 | 70.002 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 3.993 | 3.993 | 6.812 | 6.812 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | 8 | 8 | 23 | 23 | kW _{el} |
| Stromverbrauch für den Betrieb | 4.250 | 4.250 | 12.219 | 12.219 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 659 | 659 | 1.466 | 1.466 | €/a |
| Annuität Summe | 844 | 844 | 1.878 | 1.878 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 3.658 | 3.658 | 3.658 | 3.658 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 208 | 208 | 342 | 342 | €/a |
| Annuität Summe | 216 | 216 | 356 | 356 | €/a |

Tabelle 13-12: Kosten Getreidetrocknung Dächerschachttrockner

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

Tabelle 13-13: Erlöse Getreidetrocknung Dächerschachttrockner

| Getreidetrocknung | Dächerschachttrockner | | Dächerschachttrockner | |
|---|--|--|---|---|
| | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau |
| Referenzanlagen | | | | |
| Stromleistung (Anschlusswert) | 8 | 8 | 23 | 23 |
| Stromgleichzeitigkeit | 85% | | | |
| Energiebedarf | 1,40 kWh _{gr} /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 |
| Strombedarf | | | | |
| | 4.250 | 4.250 | 12.219 | 12.219 |
| Anlagenbedienung | 6 h/Tag | | 6 h/Tag | |
| | 260 | 260 | 260 | 260 |
| Getreidetrocknung Wertsteigerung | | | | |
| Wertsteigerung Getreide | 13 €/t TM | | | |
| Wertsteigerung Getreide | 10 €/t FM zu | | | |
| Wertsteigerung Produkt | 10.229 | 10.284 | 29.723 | 30.092 |

Tabelle 13-14: Details Getreidetrocknung Dächerschachttrockner

GETREIDETROCKNUNG KOSTEN

Schubwendetrockner

| Referenzanlagen | | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|-------------------------|---|---|---------------------|
| Investition | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | | 102.976 | 102.976 | € |
| | 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 | € |
| Barwert-Restwert | | 101.807 | 101.807 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | | 10.283 | 10.283 | €/a |
| Stromkosten | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | | 20 | 20 | kW _{el} |
| Stromverbrauch für den Betrieb | | 15.938 | 15.938 | kWh _{el} |
| Stromkosten | | 1.913 | 1.913 | €/a |
| Annuität Summe | | 2.450 | 2.450 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | | 4.116 | 4.116 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | |
| | | 515 | 515 | €/a |
| Annuität Summe | | 536 | 536 | €/a |

Tabelle 13-15: Kosten Getreidetrocknung Schubwendetrockner

GETREIDETROCKNUNG ERLÖSE

Schubwendetrockner

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

Tabelle 13-16: Erlöse Getreidetrocknung Schubwendetrockner

Getreidetrocknung

Schubwendetrockner

| | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|-------------------|
| Referenzanlagen | | | | | |
| Stromleistung (Anschlusswert) | | | 20 | 20 | kW _{el} |
| Stromgleichzeitigkeit | 85% | | | | |
| Energiebedarf | 1,40 | kWh _{th} /kg Wasser | 1,30 | kWh _{th} /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 |
| Strombedarf | | | | | |
| | | | 15.938 | 15.938 | kWh _{el} |
| Anlagenbedienung | | | | | |
| | | | 6 | 293 | h/Tag |
| | | | 293 | 293 | h/Jahr |
| Getreidetrocknung Wertsteigerung | | | | | |
| Wertsteigerung Getreide | 13 | €/t TM | | | |
| Wertsteigerung Getreide | 10 | €/t FM zu | | | |
| Wertsteigerung Produkt | | | 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
| Referenzanlagen | | | | | |
| Investition | | | | | |
| | 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 | € |
| Gesamtinvestition | 18.939 | 18.939 | 40.100 | 40.100 | € |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 21.397 | 21.397 | 48.843 | 48.843 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| | 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 |
| Annuität Summe | 2.052 | 2.052 | 4.725 | 4.725 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | 7 | 7 | 20 | 20 | kW _{el} |
| Stromverbrauch für den Betrieb | 3.719 | 3.719 | 10.625 | 10.625 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 576 | 576 | 1.275 | 1.275 | €/a |
| Annuität Summe | 738 | 738 | 1.633 | 1.633 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 4.573 | 4.573 | 6.402 | 6.402 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 95 | 95 | 200 | 200 | €/a |
| Annuität Summe | 99 | 99 | 209 | 209 | €/a |

Tabelle 13-18: Kosten Getreidetrocknung Wagentrockner

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

Tabelle 13-19: Erlöse Getreidetrocknung Wagentrockner

| Getreidetrocknung | Wagentrocknung | | Wagentrocknung | | |
|---|--|--|---|---|------------------------------|
| | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
| Referenzanlagen | | | | | |
| Stromleistung (Anschlusswert) | 7 | 7 | 20 | 20 | kW _{el} |
| Stromgleichzeitigkeit | 85% | | | | |
| Energiebedarf | 1,40 | | | | kWh _{th} /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 |
| Strombedarf | | | | | |
| | 3.719 | 3.719 | 10.625 | 10.625 | kWh _{el} |
| Anlagenbedienung | 5 | | 7 | | h/Tag |
| | 326 | 326 | 456 | 456 | h/Jahr |
| Getreidetrocknung Wertsteigerung | | | | | |
| Wertsteigerung Getreide | 13 | | | | €/t TM |
| Wertsteigerung Getreide | 10 | | | | €/t FM zu |
| Wertsteigerung Produkt | 10.229 | 10.284 | 29.723 | 30.092 | €/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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 356.965 | 356.965 | 608.547 | 608.547 | € |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 396.897 | 396.897 | 684.864 | 684.864 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 40.029 | 40.029 | 68.208 | 68.208 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | 18 | 18 | 30 | 30 | kW _{el} |
| Stromverbrauch für den Betrieb | 28.350 | 28.350 | 47.250 | 47.250 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 4.394 | 4.394 | 5.670 | 5.670 | €/a |
| Annuität Summe | 5.629 | 5.629 | 7.264 | 7.264 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 20.167 | 20.167 | 25.929 | 25.929 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.785 | 1.785 | 3.043 | 3.043 | €/a |
| Annuität Summe | 1.857 | 1.857 | 3.166 | 3.166 | €/a |

Tabelle 13-21: Kosten Heil- und Gewürzpflanzentrocknung

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

Tabelle 13-22: Erlöse Heil- und Gewürzpflanzentrocknung

Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Bandrockner

| Referenzanlagen | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|-------------------|
| Stromleistung (Anschlusswert) | 18 | 18 | 30 | 30 | kW _{el} |
| Stromgleichzeitigkeit | 80% | | | | |
| Energiebedarf | 1,35 | kWh _{th} /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 |
| Strombedarf | | | | | |
| | 28.350 | 28.350 | 47.250 | 47.250 | kWh _{el} |
| Anlagenbedienung | 14 | 18 | | | h/Tag |
| | 1.436 | 1.436 | 1.846 | 1.846 | h/Jahr |
| Heil- und Gewürzpflanzentrocknung Wertsteigerung | | | | | |
| 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 |
| Wertsteigerung Produkt | 42.480 | 42.704 | 124.077 | 125.650 | €/a |

Tabelle 13-23: Details Heil- und Gewürzpflanzentrocknung

13.3.4 Trocknungsprozesse für Klärschlamm-Variante 1

| Referenzanlagen | BANDTROCKNER | | | | |
|--|--|--|---|---|---------------------|
| | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 337.038 | 337.038 | 528.665 | 528.665 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert nach 20 Jahren | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 408.177 | 408.177 | 644.989 | 644.990 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 37.485 | 37.485 | 58.817 | 58.818 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | 20 | 20 | 40 | 40 | kW _{el} |
| Stromverbrauch für den Betrieb | 90.000 | 90.000 | 180.000 | 180.000 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 13.950 | 13.950 | 21.600 | 21.600 | €/a |
| Annuität Summe | 17.871 | 17.871 | 27.671 | 27.671 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 16.463 | 16.463 | 16.463 | 16.463 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.685 | 1.685 | 2.643 | 2.643 | €/a |
| Annuität Summe | 1.754 | 1.754 | 2.751 | 2.751 | €/a |

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 |
| Wertsteigerung Produkt | 36.742 | 36.931 | 108.569 | 110.003 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| Abw ärmeverbrauch | 847 | 852 | 2.503 | 2.536 | MWh |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Anteil am Abw ärme Potenzial | 75% | 75% | 75% | 75% | |
| Einnahmen KWK | 12.708 | 12.773 | 43.392 | 43.965 | €/a |
| Gewinnannuität | -24.122 | -23.868 | 46.259 | 48.266 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | -23.995 | | 47.262 | | €/a |
| erforderlicher Wärmeerlös | 56 | 56 | 19 | 19 | €/MWh |

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

Klärschlamm-trocknung Bandtrockner

| Referenzanlagen | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|-------------------|
| Stromleistung (Anschlusswert) | 20 | 20 | 40 | 40 | kW _{el} |
| Stromgleichzeitigkeit | 80% | | | | |
| Energiebedarf | 1,20 | kWh _{th} /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 | 90.000 | 90.000 | 180.000 | 180.000 | kWh _{el} |
| Anlagenbedienung | 4 h/Tag | | 4 h/Tag | | |
| | 1.172 | 1.172 | 1.172 | 1.172 | h/Jahr |
| Klärschlamm-trocknung Wertsteigerung | | | | | |
| Wertsteigerung Klärschlamm | 25 | | | | €/t FM zu |
| Wertsteigerung Produkt | 28.681 | 28.829 | 84.750 | 85.869 | €/a |

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

KLÄRSCHLAMMTROCKNUNG WARMLUFT-HALLENTROCKNUNG mit WENDER KOSTEN

| Referenzanlagen | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 286.713 | 300.366 | 387.739 | 387.739 | € |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 351.985 | 365.638 | 472.025 | 472.026 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 32.155 | 33.250 | 43.075 | 43.075 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | 8 | 8 | 20 | 20 | kW _{el} |
| Stromverbrauch für den Betrieb | 31.500 | 31.500 | 78.750 | 78.750 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 4.883 | 4.883 | 9.450 | 9.450 | €/a |
| Annuität Summe | 6.255 | 6.255 | 12.106 | 12.106 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 24.694 | 24.694 | 24.694 | 24.694 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.434 | 1.502 | 1.939 | 1.939 | €/a |
| Annuität Summe | 1.492 | 1.563 | 2.017 | 2.017 | €/a |

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 |
| Wertsteigerung Produkt | 36.742 | 36.931 | 108.569 | 110.003 €/a |
| KWK Bonus | | | | |
| Abw ärmeverbrauch | 847 | 852 | 2.503 | 2.536 MWh |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 €/kWh _{el} |
| Anteil am Abw ärme Potenzial | 75% | 75% | 75% | 75% |
| Einnahmen KWK | 12.708 | 12.773 | 43.392 | 43.965 €/a |
| Gewinnannuität | | | | |
| | -15.145 | -16.058 | 70.068 | 72.075 €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | -15.601 | | 71.072 | €/a |
| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--------------------------------------|--|--|---|---|-------------------|
| Stromleistung (Anschlusswert) | 8 | 8 | 20 | 20 | kW _{el} |
| Stromgleichzeitigkeit | 70% | | | | |
| Energiebedarf | 1,20 | kWh _{tr} /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 _{el} |
| 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 | | | |
| Wertsteigerung Produkt | 28.681 | 28.829 | 84.750 | 85.869 | €/a |

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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} 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 |
| | 4.000 | 4.100 | 12.300 | 12.500 | | 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 55.110 | 55.110 | 63.250 | 63.250 | € |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 46.442 | 46.442 | 53.639 | 53.639 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 4.831 | 4.831 | 5.577 | 5.577 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,5 | kW _{el} |
| Stromkosten (4 Stunden Pumpbetrieb am Tag) | 264 | 264 | 255 | 255 | €/a |
| Annuität Summe | 338 | 338 | 327 | 327 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 276 | 276 | 316 | 316 | €/a |
| Annuität Summe | 287 | 287 | 329 | 329 | €/a |

Tabelle 13-31: Kosten Ferkelaufzucht

FERKELAUFGUCHT ERLÖSE

| | | | | | |
|---|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------------|
| Wärmeverkauf | | | | | |
| Wärmelieferung an die Ferkelaufzucht | 119 | 119 | 238 | 238 | MWh/a |
| Anteil am Abw ärmepotenzial | 10,5% | 10,5% | 7,1% | 7,0% | |
| Wärmeerlös | 35 | | | | €/MWh |
| | 3.957 | 3.957 | 7.914 | 7.914 | €/a |
| Einnahmen Wärme | 5.069 | 5.069 | 10.138 | 10.138 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 1.785 | 1.785 | 4.125 | 4.125 | €/a |
| Gewinnannuität mit Preissteigerung | 1.398 | 1.398 | 8.029 | 8.029 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | 1.398 | | 8.029 | | €/a |

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 ² *K) |
| Gesamtenergiedurchlassgrad | g = 0,8 |
| Solare Wärmegewinne (U-Wert-Gutschrift, Verfahren nach Wärmeschutzverordnung 1995) | S = 1,65 W/(m ² *K) |
| Temperaturanforderung von Gemüse | 20 °C |
| Luftwechsel | 1/h |
| Wärmeverteilverlust | 10 % |
| spezifischer Heizwärmebedarf | 1.075 kWh/(m ² *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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 61.801 | 61.478 | 70.352 | 70.412 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert nach 20 Jahre | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 52.080 | 51.813 | 59.166 | 59.216 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 5.418 | 5.390 | 6.155 | 6.160 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kW _{el} | 2,5 | 2,5 | 5,0 | 5,0 | kW _{el} |
| Stromkosten (5 Stunden Pumpbetrieb am Tag) | 1.210 | 1.210 | 1.874 | 1.874 | €/a |
| Annuität Summe | 1.550 | 1.550 | 2.401 | 2.401 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 309 | 307 | 352 | 352 | €/a |
| Annuität Summe | 322 | 320 | 366 | 366 | €/a |

Tabelle 13-34: Kosten und Erlöse der Gewächshausbeheizung

GEWÄCHSHAUSBEHEIZUNG ERLÖSE

| | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| Wärmeverkauf | | | | | |
| 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 |
| Einnahmen Wärme | 19.690 | 19.690 | 59.984 | 60.442 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 6.934 | 6.934 | 24.410 | 24.596 | €/a |
| Gewinnannuität mit Preissteigerung | 19.333 | 19.362 | 75.472 | 76.111 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | 19.348 | | 75.791 | | €/a |

Tabelle 13-35: Erlöse der Gewächshausbeheizung

13.4 Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz–Variante 2

| | Granit Bayerischer Wald | Sandstein Spessart | Lockergestein (wasser- gesättigt) Hallertau |
|--|----------------------------|-----------------------|--|
| Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m*K) | 3,4 | 2,3 | 1,9 |
| Wärmekapazität c in MJ/(m ³ *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_{el} 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_{el} 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)

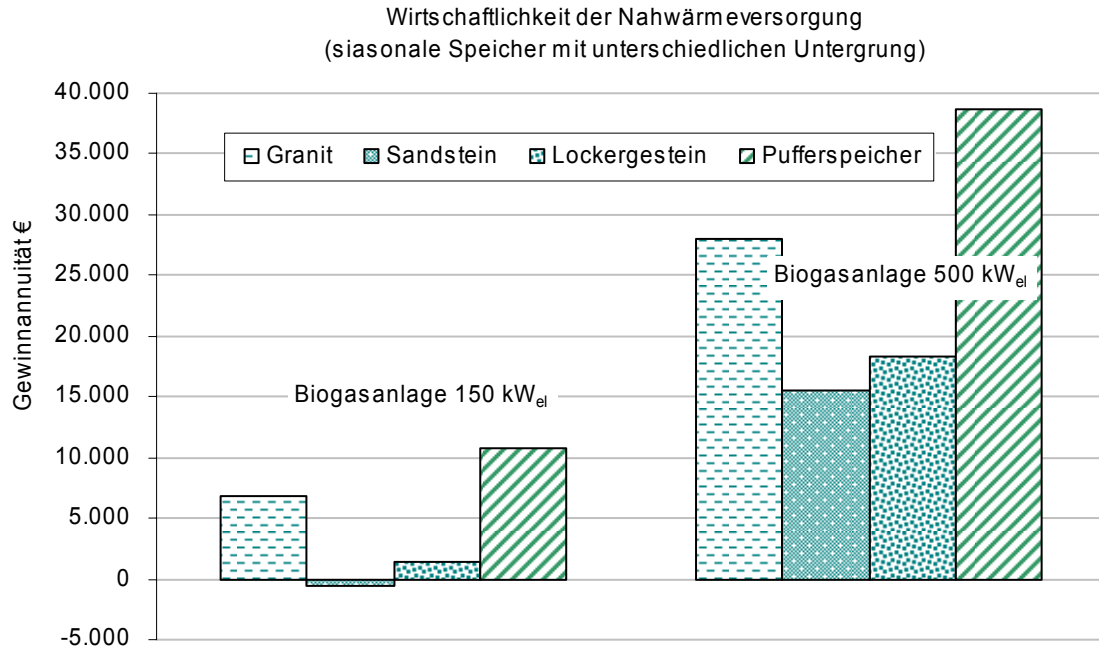


Abbildung 13-2: Gewinnannuität der Nahwärmeversorgungskonzepte mit und ohne saisonale Speicherung bei einem Wärmeerlös von 60 €/MWh. Berücksichtigt sind alle Kosten und Einnahmen der Wärmenutzungsvariante und der KWK-Bonus.

NAHWÄRMEVERSORGUNG MIT PUFFERSPEICHER KOSTEN

| | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--|--|--|---|---|------------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 295.432 | 293.871 | 787.828 | 788.120 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert nach 20 Jahren | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 274.232 | 272.671 | 724.227 | 724.520 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| 100% | 17.634 | 17.478 | 44.589 | 44.618 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Strombedarf kWh _{el} /MWh ab HÜS | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | kWh _{el} /MWh |
| Stromkosten | 1.376 | 1.376 | 3.921 | 3.921 | €/a |
| Annuität Summe | 1.762 | 1.762 | 5.023 | 5.023 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.477 | 1.469 | 3.939 | 3.941 | €/a |
| Annuität Summe | 1.537 | 1.529 | 4.099 | 4.101 | €/a |

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

NAHWÄRMEVERSORGUNG MIT PUFFERSPEICHER ERLÖSE

| | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| Nahwärmeverkauf 20 und 57 Häuser | | | | | |
| 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 |
| Einnahmen Wärme | 26.437 | 26.437 | 75.344 | 75.344 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 5.159 | 5.159 | 16.991 | 16.991 | €/a |
| Gewinnannuität mit Preissteigerung | | | | | |
| | 10.662 | 10.826 | 38.624 | 38.593 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | 10.744 | | 38.608 | | €/a |
| erforderlicher Wärmeerlös | 35,80 | 35,43 | 29,24 | 29,27 | €/MWh |

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

NAHWÄRMERVERSORGUNG MIT SAISONALEM SPEICHER KOSTEN

| Hallertau, Lockergestein | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--|--|--|---|---|------------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 810.783 | 810.783 | 2.191.825 | 2.191.825 | € |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 750.135 | 750.135 | 2.020.712 | 2.020.712 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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% | 56.235 | 56.235 | 149.808 | 149.808 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Wärmepumpentarif | 0,097 | | | | €/kWh _{el} |
| Strombedarf Wärmepumpe | 81 | 81 | 225 | 225 | MWh _{el} |
| Strombedarf kWh _{el} /MWh ab HÜS | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | kWh _{el} /MWh |
| Stromkosten | 11.125 | 11.125 | 31.121 | 31.121 | €/a |
| Annuität Summe | 14.252 | 14.252 | 39.868 | 39.868 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 4.054 | 4.054 | 10.959 | 10.959 | €/a |
| Annuität Summe | 4.219 | 4.219 | 11.404 | 11.404 | €/a |

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

NAHWÄRMERVERSORGUNG MIT SAISONALEM SPEICHER ERLÖSE

| NAHWÄRMERVERKAUF 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 |
| Einnahmen Wärme | 63.633 | 63.633 | 178.968 | 178.968 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 12.418 | 12.418 | 40.359 | 40.359 | €/a |
| Gewinnannuität mit Preissteigerung | 1.346 | 1.346 | 18.246 | 18.246 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | 1.346 | | 18.246 | | €/a |
| 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 _{el} | 500 kW _{el} |
|--|----------------------|----------------------|
| 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 & 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 & 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner | |
|---|--|--|---|--|---------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 226.662 | 226.571 | 230.760 | 230.410 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 336.281 | 336.200 | 341.504 | 341.191 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 32.124 | 32.117 | 32.600 | 32.574 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromleistung | 5,0 | 5,0 | 8,0 | 8,0 | kW _{el} |
| Strombedarf | 37.500 | 37.500 | 60.000 | 60.000 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 5.813 | 5.813 | 7.200 | 7.200 | €/a |
| Annuität Summe | 7.446 | 7.446 | 9.224 | 9.224 | €/a |
| Transportkosten | | | | | |
| 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 |
| Annuität heizen | 1.025 | 1.025 | 3.031 | 3.031 | €/a |
| Annuität heizen und trocknen | 1.025 | 1.025 | 3.031 | 3.031 | €/a |
| Annuität klimatisieren | 951 | 951 | 2.853 | 2.853 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbedienung und Wartung | | | | | |
| 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 |
| Annuität heizen | 1.099 | 1.099 | 3.248 | 3.248 | €/a |
| Annuität heizen und trocknen | 1.099 | 1.099 | 3.248 | 3.248 | €/a |
| Annuität klimatisieren | 1.019 | 1.019 | 3.057 | 3.057 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.133 | 1.133 | 1.154 | 1.152 | €/a |
| Annuität Summe | 1.179 | 1.179 | 1.201 | 1.199 | €/a |

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

MOBILE SPEICHER Zeolith ERLÖSE

| Wärmeverkauf | | | | | |
|---|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------------------|
| 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 |
| Einnahmen heizen | 15.285 | 15.285 | 46.412 | 46.412 | €/a |
| Einnahmen heizen und trocknen | 21.813 | 21.813 | 66.177 | 66.177 | €/a |
| Einnahmen klimatisieren | 7.757 | 7.757 | 24.029 | 24.029 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| Stromkennzahl (Strom/Wärme) | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 3.977 | 3.977 | 13.955 | 13.955 | €/a |
| Gewinnannuität mobiler Speicher Zeolith | | | | | |
| heizen | -23.612 | -23.604 | 11.063 | 11.092 | €/a |
| heizen und trocknen | -17.083 | -17.076 | 30.828 | 30.857 | €/a |
| klimatisieren | -30.985 | -30.978 | -10.951 | -10.922 | €/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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| INVESTITION | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 339.600 | 339.600 | 339.600 | 339.600 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 483.489 | 483.489 | 483.489 | 483.489 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 45.720 | 45.720 | 45.720 | 45.720 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromanteil Prozess | 2,5 | 2,5 | 5,0 | 5,0 | kW _{el} |
| | 18.750 | 18.750 | 37.500 | 37.500 | kWh _{el} |
| Stromeinkauf für Prozess | 2.906 | 2.906 | 4.500 | 4.500 | €/a |
| Annuität Summe | 3.723 | 3.723 | 5.765 | 5.765 | |
| Transportkosten | | | | | |
| Zyklen heizen | 248 | 248 | 676 | 676 | Zyklen |
| | | | | | |
| Kosten heizen | 2.877 | 2.877 | 7.842 | 7.842 | €/a |
| | | | | | €/a |
| Annuität heizen | 3.685 | 3.685 | 10.046 | 10.046 | €/a |
| | | | | | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbedienung und Wartung | | | | | |
| | | 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 |
| | | | | | |
| Annuität heizen | 3.949 | 3.949 | 10.763 | 10.763 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.698 | 1.698 | 1.698 | 1.698 | €/a |
| Annuität Summe | 1.767 | 1.767 | 1.767 | 1.767 | €/a |

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

MOBILE SPEICHER Transheat NaAc ERLÖSE

| Wärmeverkauf | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|------------|
| 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 |
| | | | | | |
| Einnahmen Wärme | 38.601 | 38.601 | 105.168 | 105.168 | €/a |
| | | | | | |
| KWK Bonus | | | | | |
| Stromkennzahl | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh |
| Einnahmen KWK | 10.044 | 10.044 | 31.622 | 31.622 | €/a |
| | | | | | |
| Gewinnannuität mobiler Speicher Transheat NaAc | | | | | |
| Gewinnannuität | -10.199 | -10.199 | 62.730 | 62.730 | €/a |
| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| INVESTITION | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 276.000 | 276.000 | 276.000 | 276.000 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 399.834 | 399.834 | 399.834 | 399.834 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 38.151 | 38.151 | 38.151 | 38.151 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromanteil Prozess | 2,5 | 2,5 | 5,0 | 5,0 | kW _{el} |
| | 18.750 | 18.750 | 37.500 | 37.500 | kWh _{el} |
| Stromeinkauf für Prozess | 2.906 | 2.906 | 4.500 | 4.500 | €/a |
| Annuität Summe | 3.723 | 3.723 | 5.765 | 5.765 | €/a |
| Transportkosten | | | | | |
| Zyklen heizen | 279 | 279 | 625 | 625 | Zyklen |
| Kosten heizen | 3.236 | 3.236 | 7.250 | 7.250 | €/a |
| Annuität heizen | 4.146 | 4.146 | 9.288 | 9.288 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbedienung und Wartung | | | | | |
| Kosten für Anlagenbetreuung | 13,50 | 13,50 | 13,50 | 13,50 | €/h |
| Kosten heizen | 4.269 | 4.269 | 9.563 | 9.563 | €/a |
| Annuität heizen | 4.442 | 4.442 | 9.951 | 9.951 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.380 | 1.380 | 1.380 | 1.380 | €/a |
| Annuität Summe | 1.436 | 1.436 | 1.436 | 1.436 | €/a |

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

MOBILE SPEICHER Schneider NaAc ERLÖSE

| Wärmeverkauf | | | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| 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 |
| | | | | | |
| Einnahmen Wärme | 38.601 | 38.601 | 86.471 | 86.471 | €/a |
| | | | | | |
| KWK Bonus | | | | | |
| Stromkennzahl (Strom/Wärme) | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh |
| Einnahmen KWK | 10.044 | 10.044 | 26.000 | 26.000 | €/a |
| | | | | | |
| Gewinnannuität mobiler Speicher Schneider NaAc | | | | | |
| Gewinnannuität | -3.254 | -3.254 | 47.880 | 47.880 | €/a |
| 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 ² Gew erbefläche | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 248.711 | 247.302 | 309.707 | 309.970 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert nach 20 Jahren | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 224.577 | 223.168 | 289.912 | 290.176 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| 100% | 21.637 | 21.493 | 28.436 | 28.463 | €/a |
| Vollbenutzungsstunden Kälte-/Klimaerzeugung | 1.600 | 1.600 | 1.600 | 1.600 | h |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromleistung | 4,7 | 4,7 | 12,2 | 12,2 | kW _{el} |
| Strombedarf | 7.440 | 7.440 | 19.456 | 19.456 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 1.153 | 1.153 | 2.335 | 2.335 | €/a |
| Annuität Summe | 1.477 | 1.477 | 2.991 | 2.991 | €/a |
| Wasserkosten | | | | | |
| Frischwasser und Abwasser | 1.300 | 1.300 | 3.100 | 3.100 | € |
| Annuität Summe | 1.665 | 1.665 | 3.971 | 3.971 | € |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.244 | 1.237 | 1.549 | 1.550 | €/a |
| Annuität Summe | 1.294 | 1.287 | 1.611 | 1.613 | €/a |

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

1 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 | 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% | |
| Wärmeverkauf | | | | | |
| Wärmeerlös | 45 €/MWh | | | | |
| 100% | 15.264 | 15.264 | 40.320 | 40.320 | €/a |
| Erlös für Heizen | 19.554 | 19.554 | 51.652 | 51.652 | €/a |
| Kälteerzeugung | | | | | |
| Unterbietung konv. Kältepreis um | 15% | | | | |
| Kälteerlös | 51,75 €/MWh | | 37,3 €/MWh | | |
| 100% | 7.866 | 7.866 | 13.068 | 13.068 | €/a |
| Erlös für Kälte | 10.077 | 10.077 | 16.740 | 16.740 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| Stromkennzahl (Strom/Wärme) | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 8.112 | 8.112 | 24.516 | 24.516 | €/a |
| Gewinnannuität | 11.670 | 11.821 | 55.899 | 55.871 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | 11.745 | | 55.885 | | €/a |
| 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 ² Gewerbefläche | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--|---|---|--|--|---------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 248.711 | 247.302 | 309.707 | 309.970 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert nach 20 Jahren | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 224.577 | 223.168 | 289.912 | 290.176 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| | 21.637 | 21.493 | 28.436 | 28.463 | €/a |
| Vollbenutzungsstunden Kalte-/Klimaerzeugung | 900 | 900 | 900 | 900 | h |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromleistung | 4,7 | 4,7 | 12,2 | 12,2 | kW _{el} |
| Strombedarf | 4.185 | 4.185 | 10.944 | 10.944 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 649 | 649 | 1.313 | 1.313 | €/a |
| Annuität Summe | 831 | 831 | 1.682 | 1.682 | €/a |
| Wasserkosten | | | | | |
| Frischwasser und Abwasser | 700 | 700 | 1.800 | 1.800 | € |
| Annuität Summe | 897 | 897 | 2.306 | 2.306 | € |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.244 | 1.237 | 1.549 | 1.550 | €/a |
| Annuität Summe | 1.294 | 1.287 | 1.611 | 1.613 | €/a |

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% | |
| Wärmeverkauf | | | | | |
| Wärmeerlös | 45 | €/MWh | | | |
| 100% | 7.632 | 7.632 | 20.160 | 20.160 | €/a |
| Erlös für Heizen | 9.777 | 9.777 | 25.826 | 25.826 | €/a |
| Kälteerzeugung | | | | | |
| Unterbietung konv. Kältepreis um | 15% | | | | |
| Kälteerlös | 71,33 | €/MWh | 58,9 | €/MWh | |
| 100% | 6.099 | 6.099 | 12.888 | 12.888 | €/a |
| Erlös für Kälte | 7.813 | 7.813 | 16.511 | 16.511 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| Stromkennzahl (Strom/Wärme) | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 4.245 | 4.245 | 12.820 | 12.820 | €/a |
| Gewinnannuität | -2.824 | -2.673 | 21.121 | 21.093 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | -2.749 | | 21.107 | | €/a |
| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 257.206 | 255.797 | 331.552 | 331.815 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert nach 20 Jahren | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 235.338 | 233.929 | 317.584 | 317.848 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 22.868 | 22.725 | 31.603 | 31.630 | €/a |
| Vollbenutzungsstunden Kälte-/Klimaerzeugung | 1.920 | 1.920 | 1.920 | 1.920 | h |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromleistung | 16,2 | 16,2 | 41,1 | 41,1 | kW _{el} |
| Strombedarf | 31.008 | 31.008 | 78.835 | 78.835 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 4.806 | 4.806 | 9.460 | 9.460 | €/a |
| Annuität Summe | 6.157 | 6.157 | 12.119 | 12.119 | |
| Wasserkosten | | | | | |
| Frischwasser und Abwasser | 1.400 | 1.400 | 3.700 | 3.700 | € |
| Annuität Summe | 1.793 | 1.793 | 4.740 | 4.740 | |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.286 | 1.279 | 1.658 | 1.659 | €/a |
| Annuität Summe | 1.338 | 1.331 | 1.725 | 1.726 | €/a |

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% | |
| Wärmeverkauf | | | | | |
| Wärmeerlös | 45 | €/MWh | | | |
| 100% | 19.080 | 19.080 | 50.400 | 50.400 | €/a |
| Erlös für Heizen | 24.443 | 24.443 | 64.565 | 64.565 | €/a |
| Kälteerzeugung | | | | | |
| Unterbietung konv. Kältepreis um | 15% | | | | |
| Kälteerlös | 52,88 | €/MWh | 45,6 | €/MWh | |
| 100% | 8.630 | 8.630 | 19.087 | 19.087 | €/a |
| Erlös für Kälte | 11.056 | 11.056 | 24.451 | 24.451 | |
| KWK Bonus | | | | | |
| Stromkennzahl (Strom/Wärme) | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 9.989 | 9.989 | 30.196 | 30.196 | €/a |
| Gewinnannuität | 13.330 | 13.481 | 69.025 | 68.997 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | 13.405 | | 69.011 | | €/a |
| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 259.032 | 257.623 | 324.304 | 324.567 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert nach 20 Jahren | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 236.399 | 234.989 | 309.946 | 310.209 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| | 22.854 | 22.711 | 30.927 | 30.954 | €/a |
| Vollbenutzungsstunden Kälte-/Klimaerzeugung | 3.000 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | h |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromleistung | 21,2 | 21,2 | 55,1 | 55,1 | kW _{el} |
| Strombedarf | 63.450 | 63.450 | 165.180 | 165.180 | kWh _{el} |
| Stromkosten | 9.835 | 9.835 | 19.822 | 19.822 | €/a |
| Annuität Summe | 12.599 | 12.599 | 25.393 | 25.393 | €/a |
| Wasserkosten | | | | | |
| Frischwasser und Abwasser | 2.300 | 2.300 | 5.900 | 5.900 | € |
| Annuität Summe | 2.946 | 2.946 | 7.558 | 7.558 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 1.295 | 1.288 | 1.622 | 1.623 | €/a |
| Annuität Summe | 1.348 | 1.340 | 1.687 | 1.689 | €/a |

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% | |
| Wärmeverkauf | | | | | |
| Wärmeerlös | 45 | € /MWh | | | |
| 100% | 4.770 | 4.770 | 12.600 | 12.600 | €/a |
| Erlös für Heizen | 6.111 | 6.111 | 16.141 | 16.141 | €/a |
| Kälteerzeugung | | | | | |
| Unterbietung konv. Kältepreis um | 15% | | | | |
| Kälteerlös | 72,94 | €/MWh | 67,4 | €/MWh | |
| 100% | 17.286 | 17.286 | 41.232 | 41.232 | |
| Erlös für Kälte | 22.144 | 22.144 | 52.821 | 52.821 | |
| KWK Bonus | | | | | |
| Stromkennzahl (Strom/Wärme) | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 9.680 | 9.680 | 25.040 | 25.040 | €/a |
| Gewinnannuität | -1.812 | -1.661 | 28.437 | 28.409 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | -1.737 | | 28.423 | | €/a |
| 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 _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|----------|---|---|--------------------------|
| Investition | | | | |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 0 | 377.577 | 377.840 | € |
| Barwerte | | | | |
| Absorptionskältemaschine (AKM) (15 Jahre) | 0 | 0 | 84.100 | € |
| Ersatz 1 | 0 | 0 | 46.965 | € |
| Kompressionskältemaschine (KKM) (15 Jahre) | | | | € |
| Ersatz 1 | | | | € |
| Kühlturm (20 Jahre) | 0 | 0 | 10.600 | € |
| Wärmespeicher (20 Jahre) | 0 | 0 | 95.139 | € |
| Wärmeleitung (40 Jahre) | 0 | 0 | 150.000 | € |
| Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren) | 0 | 0 | 1.008 | € |
| Ersatz 1 | 0 | 0 | 684 | € |
| Installation, Anbindung | 0 | 0 | 36.730 | € |
| Restwert nach 20 Jahren | | | | |
| AKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren) | 0 | 0 | 24.532 | € |
| KKM (1 Ersatzbeschaffung nach 15 Jahren) | | | | € |
| Kühlturm (20 Jahre) | 0 | 0 | 0 | € |
| Wärmespeicher (20 Jahre) | 0 | 0 | 0 | € |
| Wärmeleitung (40 Jahre) | 0 | 0 | 28.267 | € |
| Pumpe (1 Ersatzbeschaffung nach 10 Jahren) | 0 | 0 | 0 | € |
| Installation, Anbindung | 0 | 0 | 0 | € |
| Barwert-Restwert | 0 | 0 | 372.426 | 372.690 |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | |
| 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 |
| | 0 | 0 | 36.901 | 36.928 |
| Vollbenutzungsstunden Kalte-/Klimaerzeugung | | | | |
| | | | 900 | 900 h |
| Stromkosten | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 €/kWh _{el} |
| Stromleistung | | | 14,8 | 14,8 kW _{el} |
| Strombedarf | | | 13.275 | 13.275 kWh _{el} |
| Stromkosten | 0 | 0 | 1.593 | 1.593 €/a |
| Annuität Summe | 0 | 0 | 2.041 | 2.041 |
| Wasserkosten | | | | |
| Frischwasser und Abwasser | | | 2.100 | 2.100 € |
| Annuität Summe | 0 | 0 | 2.690 | 2.690 |
| Versicherungen 0,5% | | | | |
| | 0 | 0 | 1.888 | 1.889 €/a |
| Annuität Summe | 0 | 0 | 1.965 | 1.966 |

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

5 GEWERBEFLÄCHE ERLÖSE

| Wärme- und Leistungsangebot und Nutzung | | | | |
|--|------------|----------|---------------|--------------------------|
| 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% |
| Wärmeverkauf | | | | |
| Wärmeerlös | 45 €/MWh | | | |
| 100% | 0 | 0 | 26.460 | 26.460 €/a |
| Erlös für Heizen | 0 | 0 | 33.897 | 33.897 |
| Kälteerzeugung | | | | |
| Unterbietung konv. Kältepreis um | 15% | | | |
| Kälteerlös | 0,00 €/MWh | | 56,7 €/MWh | |
| 100% | 0 | 0 | 17.209 | 17.209 |
| Erlös für Kälte | 0 | 0 | 22.046 | 22.046 |
| KWK Bonus | | | | |
| Stromkennzahl (Strom/Wärme) | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | | | 15.246 | 15.246 |
| Gewinnannuität | 0 | 0 | 27.592 | 27.564 |
| Gewinnannuität Mittelwert | | | 27.578 | 27.564 |
| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV |
|---|----------------------|--|--|
| BHKW | | | |
| 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% |
| Energiebilanz mit Zündöl | | | |
| Motorlaufzeit | h/a | 7.500 | 7.500 |
| Bruttoenergie im verbleibenden Biogas ¹ | 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 |
| Elektrische Leistung | | | |
| Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung) | kW _{el} | 180 | 180 |
| Leistung laut Herstellerwirkungsgrad | kW _{el} | 179 | 179 |
| Leistung real laut Wirkungsgrad el. real | kW _{el} | 166 | 166 |
| Thermische Leistung | | | |
| Leistung laut Herstellerwirkungsgrad | kW _{th} | 196 | 196 |
| Leistung laut Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste) | kW _{th} | 192 | 192 |
| Nutzenergieerzeugung | | | |
| Stromerzeugung real (7500 Stunden * Leistung real) | MWh _{el} /a | 1.244 | 1.243 |
| Wärmeerzeugung gesamt real | MWh _{th} /a | 1.440 | 1.440 |
| Stromkennzahl | | 0,91 | 0,91 |
| Stromerzeugung Zunahme gegenüber Gas-Otto-Motor | MWh _{el} /a | 215 | 215 |
| | | 17,3% | 17,3% |
| Wärmeerzeugung Abnahme gegenüber Gas-Otto-Motor | MWh _{th} /a | 37 | 37 |
| | | 2,7% | 2,7% |
| Mehrnutzen durch Wirkungsgradsteigerung auf Basis Referenz | MWh _{th} /a | 156 | 156 |

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

REFERENZANLAGEN MIT ZÜNDSTRAHLMOTOR KOSTEN

| Referenzanlagen | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | |
|---|--|--|---------------------|
| Investition | | | |
| Investition je kW _{el} Zündstrahlmotor | 3.700 | 3.900 | €/kW _{el} |
| | 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 | € |
| Gesamtinvestition | 555.000 | 585.000 | € |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 579.264 | 608.395 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | |
| Bau | 27.895 | 29.402 | €/a |
| Technik | 33.248 | 35.248 | €/a |
| Motor | 6.012 | 6.012 | €/a |
| Planung, Genehmigung, Netzanschluss | 0 | 0 | €/a |
| Annuität Summe | 67.155 | 70.663 | €/a |
| Substratkosten | | | |
| Maissilage | 0 | 57.354 | €/a |
| Grassilage | 59.699 | 0 | €/a |
| Getreide-Ganzpflanzensilage mittl. Körneranteil | 0 | 20.010 | €/a |
| Getreide-Körner (Triticale) | 26.014 | 11.448 | €/a |
| | 90.855 | 94.141 | €/a |
| Annuität Summe | 94.546 | 97.965 | €/a |
| Stromkosten | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | €/kWh _{el} |
| Stromanteil Bedarf von Erzeugung | 5% | 5% | €/a |
| Stromkosten | 9.641 | 9.635 | €/a |
| Annuität Summe | 12.350 | 12.343 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | |
| Arbeitsstunden | 671 | 778 | h/a |
| Kosten für Anlagenbetreuung | 13,50 | 13,50 | €/h |
| | 9.062 | 10.496 | €/a |
| Annuität Summe | 9.430 | 10.923 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | |
| | 2.775 | 2.925 | €/a |
| Annuität Summe | 2.888 | 3.044 | €/a |
| Zündöl (RME) | | | |
| RME Kosten | 0,80 | 0,80 | €/l |
| | 13.555 | 13.547 | €/a |
| Annuität Summe | 17.365 | 17.355 | €/a |

Tabelle 13-62: Zündstrahlmotor Kosten inkl. Biogasanlage

REFERENZANLAGEN MIT ZÜNDSTRAHLMOTOR ERLÖSE

| | | | |
|--|----------------|----------------|----------------------|
| Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung | | | |
| 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% | |
| Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung | 4.026 | 4.026 | €/a |
| KWK Bonus | | | |
| | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 892 | 892 | €/a |
| Erlös für Stromeinspeisung 2005 | | | |
| €/kWh _{el} | 1.244 | 1.243 | MWh _{el} /a |
| 0,1133 € | 127.434 | 127.434 | € |
| 0,0975 € | 11.599 | 11.528 | € |
| 0,0877 € | 0 | 0 | € |
| 0,0827 € | 0 | 0 | € |
| Einnahmen Stromeinspeisung | 139.033 | 138.962 | €/a |
| Mehreinnahmen gegenüber Gas-Otto-Motor | 22.493 | 22.490 | €/a |
| Naw aro-Bonus | | | |
| | 0,06 | 0,06 | €/kWh _{el} |
| Naw aro-Bonus | 74.637 | 74.593 | €/a |
| Mehreinnahmen gegenüber Gas-Otto-Motor | 12.907 | 12.900 | €/a |
| Düngerwert | | | |
| | 10.287 | 8.251 | €/a |
| Düngerwert | 10.705 | 8.587 | €/a |
| Gew innannuität | 25.560 | 14.768 | €/a |
| Differenz gegenüber Gas-Otto-Motor | 17.111 | 15.256 | €/a |
| Stromgestehungskosten Zündstrahlmotor | 0,164 | 0,171 | €/kWh _{el} |

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 _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
| Investition | | | |
| Investition je kW _{el} (50 kW _{el}) | 7.000 | 7.000 | €/kW _{el} |
| | 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 | € |
| Gesamtinvestition | 350.000 | 350.000 | € |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 378.482 | 378.482 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | 100% | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 47.512 | 47.512 | €/a |
| Stromkosten | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromleistung | 8 | 8 | kW _{el} |
| Vollbenutzungsstunden | 7.500 | 7.500 | h |
| Stromkosten | 7.200 | 7.200 | €/a |
| Annuität Summe | 9.224 | 9.224 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | |
| Arbeitsstunden | 50 | 50 | h/a |
| Kosten für Anlagenbetreuung | 13,50 | 13,50 | €/h |
| 100% | 675 | 675 | €/a |
| Annuität Summe | 702 | 702 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | |
| | 1.750 | 1.750 | €/a |
| Annuität Summe | 1.821 | 1.821 | €/a |

Tabelle 13-64: ORC-Anlage Kosten

ORC-NACHVERSTROMUNG ERLÖSE

1. Einspeisevergütung und nur Technologiebonus für Strom aus ORC

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

Tabelle 13-65: ORC-Anlage Erlöse

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

| | | |
|---|-------|------------------------|
| Einspeisevergütung | 2008 | |
| bis 150 kW _{el} | 10,83 | Cent/kWh _{el} |
| bis 500 kW _{el} | 9,32 | Cent/kWh _{el} |
| bis 5.000 kW _{el} | 8,38 | Cent/kWh _{el} |
| Einspeiseerlös | 9,74 | Cent/kWh _{el} |
| Naw aro bis 500 kW _{el} | 6 | Cent/kWh _{el} |
| Naw aro bis 5.000 kW _{el} | 4 | Cent/kWh _{el} |
| Naw aro | 5,96 | Cent/kWh _{el} |
| Technologiebonus bis 5.000 kW _{el} | 2 | Cent/kWh _{el} |
| Erlös ORC Strom | 17,71 | Cent/kWh _{el} |

Stromgestehungskosten in Cent/kWh_{el}

| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| Investition je kW _{el} | | | | | €/kW _{el} |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 836.150 | 864.976 | 1.927.351 | 1.875.474 | € |
| Mehrinvestition gegenüber Referenzanlage | 281.150 | 279.976 | 377.351 | 325.474 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Restwert | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 856.945 | 884.901 | 2.007.426 | 1.959.595 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 93.878 | 97.266 | 224.358 | 218.384 | €/a |
| Substratkosten | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 94.546 | 97.965 | 303.417 | 304.323 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromanteil Bedarf von Erzeugung | 6,3% | 6,3% | 6,3% | 6,3% | |
| Stromkosten | 10.046 | 10.041 | 26.152 | 26.134 | €/a |
| Annuität Summe | 12.870 | 12.863 | 33.502 | 33.479 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 11.316 | 13.107 | 29.586 | 36.455 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 4.181 | 4.325 | 9.637 | 9.377 | €/a |
| Annuität Summe | 4.351 | 4.501 | 10.028 | 9.758 | €/a |
| Pacht | 70 | €/m ² *a | 15 | m ² | |
| | 1.050 | 1.050 | 1.050 | 1.050 | €/a |
| Annuität Summe | 1.093 | 1.093 | 1.093 | 1.093 | €/a |

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

GASLEITUNG mit ZWEI BHKW 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 |
| Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung | 4.026 | 4.026 | 6.442 | 6.442 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 13.881 | 13.956 | 46.442 | 47.121 | €/a |
| Erlös für Stromeinspeisung 2005 | | | | | |
| Stromertrag 2005 | 983 | 984 | 3.404 | 3.405 | MWh _{el} /a |
| 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 | € |
| Einnahmen Stromeinspeisung | 111.400 | 111.457 | 348.052 | 348.186 | €/a |
| Nawaro-Bonus | | | | | |
| | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | € |
| | 59.007 | 59.037 | 204.250 | 204.328 | €/a |
| Düngerwert | | | | | |
| | 10.287 | 8.251 | 25.251 | 25.894 | €/a |
| Düngerwert | 10.705 | 8.587 | 26.277 | 26.946 | €/a |
| Wärmeerlös | | | | | |
| 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 |
| Wärmeerlöse | 35.874 | 36.076 | 105.385 | 106.967 | €/a |
| Gewinnannuität | 16.841 | 6.345 | 134.863 | 136.497 | €/a |
| Gewinnannuität Mittelwert | 11.593 | | 135.680 | | €/a |
| Gewinnannuität Differenz zu Referenzanlage | 8.392 | 6.833 | 86.951 | 94.799 | €/a |
| Gewinnannuität Differenz zu Referenzanlage Mittelwert | 7.612 | | 90.875 | | €/a |

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

BHKW 1 zur FERMENTERBEHEIZUNG

| BHKW zur Fermenterbeheizung | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------------------|
| Wärmebedarf Fermenter und Gebäude | 273 | 267 | 698 | 651 | MWh/a |
| BHKW | | | | | |
| 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 |
| Elektrische Leistung | | | | | |
| Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung) | 25 | 25 | 90 | 90 | kW _{el} |
| Leistung laut Herstellerwirkungsgrad | 25 | 24 | 88 | 82 | kW _{el} |
| Leistung real laut Wirkungsgrad el. real | 22 | 22 | 81 | 75 | kW _{el} |
| Thermische Leistung | | | | | |
| Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung) | 40 | 40 | 120 | 110 | kW _{th} |
| Leistung laut Herstellerwirkungsgrad | 45 | 44 | 118 | 110 | kW _{th} |
| Leistung laut Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste) | 42 | 41 | 110 | 103 | kW _{th} |
| Nutzenergieerzeugung | | | | | |
| Stromerzeugung | 169 | 164 | 606 | 565 | MWh _{el} /a |
| Wärmeerzeugung | 273 | 267 | 698 | 651 | MWh _{th} /a |
| Stromkennzahl | 0,56 | 0,56 | 0,75 | 0,75 | |
| Investitionskosten | | | | | |
| | 880 | 880 | 880 | 880 | €/kW _{el} |
| Investitionskosten BHKW | 22.000 | 22.000 | 79.200 | 79.200 | € |

Tabelle 13-70: BHKW 1 zur Fermenterbeheizung

BHKW 2 beim WÄRMEABNEHMER

| BHKW beim WÄRMEABNEHMER | | | | | 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 |
| Elektrische Leistung | | | | | |
| Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung) | 120 | 120 | 410 | 420 | kW _{el} |
| Leistung laut Herstellerwirkungsgrad | 119 | 119 | 404 | 410 | kW _{el} |
| Leistung real laut Wirkungsgrad el. real | 109 | 109 | 373 | 379 | kW _{el} |
| Thermische Leistung | | | | | |
| Installierte Leistung (aufgerundet) (Nennleistung) | 160 | 160 | 470 | 480 | kW _{th} |
| Leistung laut Herstellerwirkungsgrad | 158 | 159 | 466 | 473 | kW _{th} |
| Leistung laut Wirkungsgrad th. real (exkl. Abgasverluste) | 148 | 149 | 435 | 442 | kW _{th} |
| Nutzenergieerzeugung | | | | | |
| Stromerzeugung | 815 | 819 | 2.798 | 2.840 | MWh _{el} /a |
| Wärme nutzbar nach Abzug Abgasverluste | 1.111 | 1.117 | 3.264 | 3.313 | MWh _{th} /a |
| Stromkennzahl | 0,75 | 0,75 | 0,87 | 0,87 | |
| | 880 | 880 | 704 | 704 | €/kW _{el} |
| 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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|---|--|--|---|---|---------------------|
| Investition | | | | | |
| Investition je kW _{el} | 3.700 | 3.900 | 3.100 | 3.100 | €/kW _{el} |
| 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 | € |
| Gesamtinvestition | 840.550 | 869.376 | 1.867.511 | 1.867.730 | € |
| Mehrinvestition gegenüber Referenzanlage | 311.563 | 310.389 | 366.355 | 366.574 | € |
| Barwerte | | | | | |
| 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 | € |
| Barwert-Restwert | 862.485 | 890.441 | 1.949.321 | 1.949.540 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 94.440 | 97.828 | 217.361 | 217.384 | €/a |
| Substratkosten | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 94.546 | 97.965 | 303.417 | 304.323 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,120 | 0,120 | €/kWh _{el} |
| Stromanteil Bedarf von Erzeugung | 7% | 7% | 7% | 7% | |
| Stromkosten | 11.163 | 11.156 | 29.058 | 29.038 | €/a |
| Annuität Summe | 14.300 | 14.292 | 37.225 | 37.199 | €/a |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 9.430 | 10.923 | 24.655 | 30.379 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 4.203 | 4.347 | 9.338 | 9.339 | €/a |
| Annuität Summe | 4.373 | 4.523 | 9.717 | 9.718 | €/a |
| Pacht | 70 | €/m ² *a | 15 | m ² | |
| | 1050 | 1050 | 1050 | 1050 | €/a |
| Annuität Summe | 1.093 | 1.093 | 1.093 | 1.093 | €/a |
| Kosten Holzhackschnitzelkessel | | | | | |
| Annuität Summe | 12.007 | 11.956 | 27.217 | 25.920 | €/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 |
| Heizöleinsparung durch Gebäudebeheizung | 4.026 | 4.026 | 6.442 | 6.442 | €/a |
| KWK Bonus | | | | | |
| | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | €/kWh _{el} |
| Einnahmen KWK | 16.835 | 16.825 | 55.963 | 55.924 | €/a |
| Erlös für Stromeinspeisung 2005 | | | | | |
| Stromertrag 2005 | €/kWh _{el} | 1.029 | 1.028 | 3.459 | 3.457 MWh _{el} /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 € |
| Einnahmen Stromeinspeisung | 116.540 | 116.472 | 355.060 | 354.827 | €/a |
| Nawaro-Bonus | | | | | |
| | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | € |
| | 61.730 | 61.693 | 207.555 | 207.412 | €/a |
| Düngerwert | | | | | |
| | 10.287 | 8.251 | 25.251 | 25.894 | €/a |
| Düngerwert | 10.705 | 8.587 | 26.277 | 26.946 | €/a |
| 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 |
| Wärmeerlöse | 36.466 | 36.654 | 107.754 | 109.177 | €/a |
| Gesamtannuität | 16.115 | 5.679 | 138.367 | 134.712 | €/a |
| Mittelwert | 10.897 | | 136.539 | | €/a |

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

HOLZHACKSCHNITZELKESSEL KOSTEN

| Referenzanlagen | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--|--|--|---|---|---------------------|
| INVESTITION | 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 | € |
| Gesamtinvestition | 26.012 | 26.012 | 48.844 | 48.844 | € |
| 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 | € |
| Annuität Investition und Instandsetzung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 2.625 | 2.760 | 5.387 | 5.387 | €/a |
| Holzhackschnittelbedarf | | | | | |
| 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 |
| Holzhackschnittelbedarf | 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 |
| Annuität Summe | 7.144 | 6.970 | 18.241 | 17.016 | €/a |
| Stromkosten | | | | | |
| Strompreis bei Zukauf | 0,155 | 0,155 | 0,12 | 0,12 | €/kWh _{el} |
| Stromanteil Bedarf von Erzeugung | 1,00% | 1,00% | 1,00% | 1,00% | |
| Stromkosten | 424 | 413 | 838 | 781 | €/a |
| Annuität Summe | 543 | 530 | 1.073 | 1.001 | |
| Arbeitszeit für Anlagenbetreuung | | | | | |
| 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 |
| Annuität Summe | 1.404 | 1.404 | 2.106 | 2.106 | €/a |
| Kaminkehrer | | | | | |
| | 150 | 150 | 150 | 150 | €/a |
| Annuität Summe | 156 | 156 | 156 | 156 | €/a |
| Versicherungen 0,5% | | | | | |
| | 130 | 130 | 244 | 244 | €/a |
| Annuität Summe | 135 | 135 | 254 | 254 | €/a |
| Summe Annuität der Kosten | 12.007 | 11.956 | 27.217 | 25.920 | €/a |
| Wärmegestehungskosten | 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 ₂ -Äquivalent | 0,29 g/kWh 5 % Eigenstrombedarf der Stromproduktion |
| 2. Substratanbau und Bereitstellung Hintergrundlachgasemissionen | CO ₂ -Äquivalent | 136-142 g CO ₂ -Äquivalent/kWh _{el real} Grünland 0,8 kg N ₂ O/ha*a, Ackerland 0,7 kg N ₂ 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 ³ 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 _{ges} |
| 7. Ausbringung des Gärrests | Ammoniak | 6–18 % des Stickstoffs, 5 % N _{ges} |
| | Lachgas | 0,05–3,2 % des Stickstoffs, 0,4 % N _{ges} (verwendet 1,25 %) |
| | Methan | < 0,1 %, nicht berücksichtigt in der Berechnung |
| 8. Gutschrift Mineraldüngerersatz | CO ₂ | Anteil Gärrest 70 %, 7,6 kg CO ₂ /kg N |
| 9. Gutschrift Güllenutzung | Methan | Minderung gegenüber Ausbringung um 78 % bei Rindergülle. Dies Wert gilt nur für Rinderhaltung. |
| 10. Gutschrift Wärmenutzung | CO ₂ -Äquivalent | Heizöl 311 g/kWh _{Brst} |
| 11. Wärmeerzeugung und Fahrten | CO ₂ -Äquivalent | Hackgut 18,2 g/kWh _{Brst} RME 1.109 g/Liter [†] Kraftstoff (Zündöl im Zündstrahlmotor) Diesel-LKW 778 g CO ₂ /km, 25 Liter Diesel/100 km Kohle 446 g/kWh _{Brst} Kesseljahresnutzungsgrad 80 % |
| 12. Gutschrift Stromerzeugung | CO ₂ -Äquivalent | 625 g/kWh _{el} (deutscher Strommix) |

Tabelle 13-75: Daten für die Berechnung der Treibhausgasemissionen

1. Bau und den Betrieb des Fermenters

0,29 g/kWh_{Biogas} (aus Prozess: Biogas aus Feuchtgut [GEMIS, 2004])

Eigenstrombedarf (Fremdbezug, deutscher Strommix): 625 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} [GEMIS, 2007]

2. Substratanbau und Bereitstellung

Aufwand für die Bereitstellung eines Feuchtgut-Substrats:

- für eine Biogasanlage: 37,46 g CO₂-Äquivalent/kWh_{Biogas} [GEMIS, 2004]
- Emissionen für NawaRo-Anlagen: 500 g CO₂-Äquivalent/m³ CH₄ [WInst, 2005]
- Werte für Brandenburg: 100–200 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} [Plöchl, 2003]

- Bereitstellung von Mais: 115–200 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el} [Berenz 2006], unterer Wert ohne Betrachtung von Lachgasemissionen

Als verwendete Mittelwerte ergeben sich daraus 136-142 g CO₂-Äquivalent/kWh_{el real}.

Als zusätzliche Hintergrundlachgasemissionen werden für Grünland 0,8 kg N₂O/ha*a und für Ackerland 0,7 kg N₂O/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 Minereraldüngerersatz

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

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 CO₂ 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 CO₂-Äquivalent-Wert von 311 g/kWh_{Brst} (389 g/kWh_{Nutzenergie}) 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 CO₂-Äquivalent Werte angesetzt. Als Jahresnutzungsgrad für die Feuerung wurden 80 % angenommen. Die daraus resultierenden Werte stehen in Klammern.

- Hackgut 18,2 g/kWh_{Brst} (20,8 g/kWh_{Nutzenergie}) (6,2 g/kWh_{Brst} [GEMIS, 2004] für die Vorkette+12 g/kWh_{Brst} [eigenen Berechnung für Betriebsenergie])
- RME 1.109 g/Liter_{Kraftstoff} (Nutzung im Zündstrahlmotor als Zündöl) [LBS, 2006]
Der Wert errechnet sich aus 61 g CO₂-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 CO₂/km
Der Wert errechnet sich aus 3.110 g/Liter_{Kraftstoff} nach [GEMIS, 2004] und dem angenommenen Verbrauch von 25 Liter/100 km.
- Kohle wird mit 446 g/kWh_{Brst} (557 g/kWh_{Nutzenergie}) 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 CO₂-Äquivalent Wert von 625 g/kWh_{el} (deutscher Strommix) nach [GEMIS, 2007] verwendet.

SUBSTRAT

| | Anlage 1, 150 kW _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} reiner Ackerbau | |
|--|--|--|---|---|----------------------------------|
| Energiegehalt im Substrat | | | | | |
| 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 |
| Stickstoffbilanz im Substrat | | | | | |
| Stickstoff im Gärrest Milchviehgülle | 2.744 | 1.220 | 3.380 | 0 | kg _N |
| Stickstoff im Gärrest Maissilage | 0 | 5.275 | 15.546 | 20.341 | kg _N |
| Stickstoff im Gärrest Grassilage | 6.954 | 0 | 0 | 0 | kg _N |
| Stickstoff im Gärrest Getreide-Ganzpflanzensilage mittlerer Körneranteil | 0 | 1.303 | 3.651 | 1.447 | kg _N |
| Stickstoff im Gärrest Getreidekörner (Triticale) | | | | | |
| Methanausgleich für nicht Abdeckung | 2.356 | 1.014 | 4.164 | 1.715 | kg _N |
| Summe | 12 | 9 | 27 | 24 | t _N /a |
| | 3,8 | 3,1 | 3,2 | 3,3 | g _N /kg _{FM} |

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

| Substrat | t _{TM} /ha | TM Gehalt in % | t _{FM} /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 _{el} Milchvieh 110 GV | Anlage 2, 150 kW _{el} Ackerbau 50 GV | Anlage 3, 500 kW _{el} Ackerbau 140 GV | Anlage 4, 500 kW _{el} 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 ₂ O/ha*a; IE, Ökologische Analyse einer Biogasnutzung... 2006, S 28 | | | |
| Ackerland ha | 0,7 | kg N ₂ O/ha*a; IE, Ökologische Analyse einer Biogasnutzung... 2006, S 28 | | | |
| N ₂ O Emissionen Grünland | 55,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | kg N ₂ O/a |
| N ₂ O Emissionen Ackerland | 21,5 | 54,1 | 170,3 | 160,8 | kg N ₂ O/a |
| Summe Hintergrundlachsmissionen | 77,1 | 54,1 | 170,3 | 160,8 | kg N₂O/a |
| Summe Hintergrundlachsmissionen | 22,84 | 16,00 | 50,41 | 47,58 | t CO₂ Äq |

Tabelle 13-78: Hintergrundlachsmissionen

CO₂-ÄQUIVALENTE EMISSIONEN DURCH DEN BAU UND BETRIEB DER BIOGASANLAGE

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

Tabelle 13-79: CO₂-Äquivalent-Emissionen der Referenzbiogasanlagen

CO₂-ÄQUIVALENTE GUTSCHRIFTEN DURCH DEN BETRIEB DER BIOGASANLAGE

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

Tabelle 13-80: CO₂-Äquivalent-Gutschriften bei den ReferenzbiogasanlagenCO₂-ÄQUIVALENT EINSPARUNG im VERGLEICH ZUR KONVENTIONELLEN ENERGIEERZEUGUNG

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

Tabelle 13-81: CO₂-Äquivalent-Einsparung im Vergleich zur konventionellen Energieerzeugung

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

Tabelle 13-82: CO₂-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 _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 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 |
| Nahwärmeverorgung 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 |
| Nahwärmeverorgung 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 Varianten. Jeweils Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und der zwei 500 kW_{el} 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 _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | 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 <i>Gewerbeobjekt</i> 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 <i>Gewerbeobjekt</i> 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 <i>Molkerei</i> 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 <i>Lagerhaus</i> 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 <i>Gewerbeobjekt</i> 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_{el} und der zwei 500 kW_{el} Anlagen. Die dargestellten Werte sind alle auf die Gesamtanlage bezogen.

| Stromerzeugung der Gesamtanlage | BHKW Strom netto | | Strom zusätzlich brutto | |
|---|----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
| gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante) | MWh _{el} | MWh _{el} | MWh _{el} | MWh _{el} |
| 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 zw ei 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 _{el} und 500 kW _{el} | Gebäude 150 kW _{el} und 500 kW _{el} | weitere genutzte Abwärme | | Abwärmepotenzial | | nicht nutzbare Energieverluste | | fixe Abgasverluste 150 kW _{el} und 500 kW _{el} | Brennstoffnutzungsgrad | | |
|---|----------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|---|---|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|--|------------------------|----------------------|----------------------|
| | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | | | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} |
| gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante) | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 150 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 500 kW _{el} |
| gereiht nach Inhaltsangabe Studie | MWh | MWh | | | | | | | | | | | | | | |
| Referenzbiogasanlage | 3.117 | 9.606 | 33% | 36% | 7% | 1% | 0% | 0% | 36% | 35% | 15% | 14% | 8% | 42% | 43% | |
| Holzackschnitzeltrocknung Satz- od. Container/Schubw endetrockner | 3.117 | 9.606 | 33% | 36% | 7% | 1% | 18% | 26% | 18% | 9% | 15% | 14% | 8% | 60% | 69% | |
| Getreidetrocknung Dächerschachtetrockner | 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% | |
| Klärschlamm-trocknung Warmluft-Hallentrocknung | 3.117 | 9.606 | 33% | 36% | 7% | 1% | 27% | 26% | 9% | 9% | 15% | 14% | 8% | 69% | 69% | |
| Klärschlamm-trocknung 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 Holzackschnitzeltankessel | 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_{el} und 500 kW_{el} 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 _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
| 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 _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
| 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 _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
| 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 ₂ -Äq. Emissionen gesamte Anlage | Betrieb Summe bei Anlage mit | | Gutschrift Wärme, Basis Heizd | | Gutschrift Strom netto auf Bas | | CO ₂ -Äq Einsparung | | CO ₂ -Äq Einsparung / kWh _{el} brutto | | €eingesparte Menge CO ₂ | |
|---|------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------------|---|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} |
| gesamte Anlage (Biogas und Wärmenutzungsvariante) | t CO ₂ /a | t CO ₂ /a | t CO ₂ /a | t CO ₂ /a | t CO ₂ /a | t CO ₂ /a | t CO ₂ /a (*-1) | t CO ₂ /a (*-1) | g/kWh _{el} brutto | g/kWh _{el} brutto | €/eingesparte t _{CO2} | (AK/CO ₂) |
| 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: CO₂-Äquivalent Einsparung der Biogasreferenzanlagen und der Varianten. Jeweils Mittelwert der zwei 150 kW_{el} und der zwei 500 kW_{el} 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 _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
| | | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | 150 kW _{el} | 500 kW _{el} | |
| | | Investitionshöhe | Rentabilität | Anteil am Abwärmepotenzial | €/eingesparte | t _{CO2} (AK/CO ₂) | 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 zweiseitige 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

