

Stefan Nakazi, Anke Niebaum, Stefan Hartmann, Sebastian Wulf und Helmut Döhler

# Wärmenutzungskonzepte für Biogasanlagen

Die Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen kann deren Energieeffizienz deutlich verbessern und hat vor dem Hintergrund steigender Substratpreise auch große wirtschaftliche Bedeutung. Anhand von Modellbetrachtungen wird der Einfluss der Wärmenutzung auf die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen abgeschätzt und die Beheizung von Gewächshäusern sowie die Gärresttrocknung als Optionen für die Wärmenutzung betrachtet. Für alle betrachteten Gewächshausgrößen und Temperaturvarianten ist die Nutzung von Biogasabwärme anstelle einer Beheizung mit Öl sinnvoll. Für die Gärresttrocknung gilt dies nur, wenn das Aufbereitungsprodukt als Düngemittel vermarktet werden kann. Vor allem größere Biogasanlagen können durch eine Wärmenutzung ihre wirtschaftliche Situation deutlich verbessern.

## Schlüsselwörter

Biogas, Energieeffizienz, Wärmenutzung, Gärresttrocknung

## Keywords

Biogas, energy efficiency, heat utilization, digestion residues

## Abstract

Nakazi, Stefan, Niebaum, Anke, Hartmann, Stefan; Wulf, Sebastian and Döhler, Helmut

## Heat utilization for biogas plants

Landtechnik 64 (2009), no. 5, pp. 326 - 329, 1 figure, 4 tables

In biogas plants the use of excess heat from cogeneration increases the energy efficiency substantially and is taking rising prices for energy crops into account. Using model calculations the influence of heat utilization on the economic feasibility of biogas plants is investigated. Heat utilization for the processing of digestion residues and the heating of greenhouses are evaluated. While the use of excess heat for heating greenhouses is economic feasible for all cases considered, the drying of digestion residues requires a profitable use as fertilizer. The larger the biogas plant, the greater economic improvement by heat utilization can be achieved.

und ist bei steigenden Substratpreisen eine wichtige Säule der Wirtschaftlichkeit. Grundlage für wirtschaftliche Vorteile einer Wärmenutzung bildet der KWK-Bonus im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG, 2009).

In folgendem Beitrag werden die Auswirkungen der Wärmenutzung auf den wirtschaftlichen Betrieb von Modellbiogasanlagen aufgezeigt. Weiterhin werden exemplarisch eine Gärresttrocknung und die Beheizung von Gewächshäusern mittels Biogasabwärme auf Ihre wirtschaftliche Realisierbarkeit hin überprüft.

## Einfluss einer Wärmenutzung auf die Wirtschaftlichkeit von Modellbiogasanlagen

Der Einfluss einer Wärmenutzung wird anhand der Wirtschaftlichkeitsberechnung für vier Modellbiogasanlagen im Leistungsbereich von 75-500 kW<sub>el</sub> betrachtet. Die Anlagen eins bis drei überschreiten einen Gülleanteil von mehr als 30 Massenprozenten im Substrateinsatz und erhalten neben dem NawaRo-Bonus zusätzlich den Güllebonus gemäß EEG 2009. Anlage vier ist eine reine NawaRo-Anlage. In der Kosten-Leistungsrechnung der Modellanlagen ist bereits eine Wärmenutzung von 30 % der erzeugten Wärme berücksichtigt. Für das korrespondierende Stromäquivalent wird der KWK-Bonus bezogen, zusätzliche Erlöse werden aus dem Wärmeverkauf erzielt (Verkaufspreis: 3 ct/kWh<sub>th</sub>).

**Tabelle 1** zeigt den Einfluss des Wärmeabsatzes auf die Wirtschaftlichkeit der Modellanlagen. Je nach Vergütungsstruktur führt der Absatz von 30 % der Wärmeenergie zu Mehreinnahmen in Höhe von 7-8%. Wenn diesen Mehreinnahmen kein zusätzlicher Aufwand gegenübersteht (Wärmeabnahme ab BHKW) erhöht sich der Gewinn um den gleichen Betrag. Aufgrund der hohen spezifischen Investitionskosten kleinerer Anlagen ist Anlage eins erst mit einem Wärmeverkauf von

■ Bei der Energieerzeugung aus Biogas steht heute nicht mehr nur die Erzeugung von elektrischer Energie im Vordergrund. Eine Nutzung der beim KWK-Prozess anfallenden Wärme steigert die Energieeffizienz von Biogasanlagen erheblich

mehr als 70% oder einem höheren Verkaufspreis für Wärme von mehr als 3 ct/kWh wirtschaftlich zu betreiben. Die Nutzung der Wärme hat jedoch nicht nur positive Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit und die Gesamtrentabilität, sondern sie verbessert auch die Energieeffizienz der Biogasanlage.

### Beispiele einer Abwärmenutzung mit KWK-Bonus

Nach der obigen allgemeinen Bewertung des Einflusses einer Wärmenutzung auf die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen werden zwei Wärmenutzungsverfahren genauer betrachtet. Zum einen wird eine Gärresttrocknung, zum anderen eine Beheizung von Gewächshäusern untersucht.

**Gärresttrocknung.** In Biogasanlagen bietet sich die Behandlung von Gärrückständen als Möglichkeit der Wärmenutzung an. Gerade bei größeren Biogasanlagen oder in Regionen mit hohem Überschuss an Nährstoffen ist eine hofnahe Ausbringung der Gärrückstände oft nur eingeschränkt möglich. Zu beachten ist, dass bei der Trocknung der Festphase  $\text{NH}_4\text{-N}$  zum größten Teil mit der Abluft als  $\text{NH}_3$  abgeführt wird, was eine Behandlung der Trocknerablufte notwendig machen kann. Für die hier betrachtete Biogasanlage mit 526  $\text{kW}_{\text{el}}$  wird von einer anfallenden Gärrestmenge von 30 000  $\text{m}^3$  ausgegangen. Die für die Trocknung der Gärreste benötigten Investitionen umfassen den Trockner sowie einen Pressschneckenseparator (zusammen 245 000 €). Hinzu kommen Kosten für die Lagerung der Aufbereitungsprodukte. Durch eine Separierung müssen die flüssige und die feste Phase gelagert werden, was die Investition im Vergleich zur einer Ausbringung der Gärreste ohne Aufbereitung erhöht. Die Kosten für von 101 000 € eine überdachte Halle zur

trockenen Lagerung der Feststoffe übersteigen die geringfügig niedrigeren Kosten für die Lagerung der abgetrennten Flüssigphase. Darüber hinaus fallen zusätzliche 14 500 € für einen Pufferbehälter an, der im Notfall anfallende Gärreste aufnehmen kann. Im Vergleich zur Ausbringung ohne Aufbereitung (478 000 €) sind somit 343 500 € zusätzliche Investitionen für die Trocknung der Gärrestfestphase notwendig.

Die wichtigsten weiteren Annahmen für die Berechnung der spezifischen Kosten sind:

- Gärresteigenschaften: 7,75 % TS, 5,6 kg N/ $\text{m}^3$ , 2,1 kg  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{m}^3$ , 6,2 kg  $\text{K}_2\text{O}/\text{m}^3$
- Energiekosten von 15 ct/ $\text{kWh}_{\text{el}}$  und 3 ct/ $\text{kWh}_{\text{th}}$
- Ausbringung der Hälfte des anfallenden Stickstoffes in unmittelbarer Nähe der Anlage, die restlichen Gärreste müssen 20 km transportiert werden
- Nährstofflöse von 0,6 €/kg N, 0,51 €/kg P und 0,26 €/kg K

Die zur Trocknung von Gärresten eingesetzte Wärme aus KWK-Prozessen ist in der Positivliste des EEG 2009 benannt und berechtigt zum Bezug des KWK Bonus. Hieraus und aus den o.g. Annahmen ergeben sich spezifische Kosten von 1,90 €/ $\text{m}^3$  Gärrest ohne Aufbereitung und 5,00 €/ $\text{m}^3$  mit einer Trocknung der separierten Festphase (**Tabelle 2**). Die zusätzlichen Kosten für die Aufbereitung betragen somit 3,10 €/ $\text{m}^3$ . Fallen keine Opportunitätskosten für die Wärme an, reduzieren sich die zusätzlichen Kosten für die Aufbereitung von Gärresten auf 0,50 €/ $\text{m}^3$  Gärrest.

In der hier durchgeführten Modellrechnung wird für die Trocknung der Gärrestfeststoffe eine Wärmearbeit von etwa

Tab. 1

Modellbiogasanlagen mit unterschiedlichen Mengen genutzter Abwärme  
Table 1: Model biogas plants with different amounts of utilized excess heat

| Kosten-Leistungs-Rechnung <sup>1)</sup><br>Cost/benefit calculation <sup>1)</sup>            |            | I<br>75 kW     | II<br>150 kW  | III<br>350 kW  | VI Nawaro<br>500 kW |
|--|------------|----------------|---------------|----------------|---------------------|
| Eingespeiste Strommenge<br>Amount of electricity fed to the grid                             | kWh/a      | 601 114        | 1 203 542     | 2 794 798      | 4 013 453           |
| Wärmemengenanfall<br>Generated heat  | kWh        | 777 045        | 1 409 480     | 3 358 553      | 4 587 428           |
| Leistungen (30 % Wärmenutzung)<br>Benefit (30 % heat utilized)                               | €/a        | 148 676        | 296 360       | 607 665        | 799 638             |
| Gesamtkosten<br>Total costs  | €/a        | 164 130        | 260 097       | 502 491        | 688 937             |
| Gewinn bei.../Benefit at...  |            |                |               |                |                     |
| 0 % Wärmeabsatz/Heat utilized  | €/a        | -27 857        | 12 746        | 49 794         | 33 292              |
| 10 % Wärmeabsatz/Heat utilized   | €/a        | -23 723        | 20 585        | 68 254         | 59 095              |
| 20 % Wärmeabsatz/Heat utilized   | €/a        | -19 588        | 28 424        | 86 714         | 84 898              |
| <b>30 % Wärmeabsatz/Heat utilized</b>  | <b>€/a</b> | <b>-15 454</b> | <b>36 263</b> | <b>105 174</b> | <b>110 700</b>      |
| 40 % Wärmeabsatz/Heat utilized   | €/a        | -11 319        | 44 102        | 123 634        | 136 503             |
| 50 % Wärmeabsatz/Heat utilized   | €/a        | -7 185         | 51 942        | 142 094        | 162 305             |
| <b>Gewinnveränderung je 10 % Wärmeabsatz<br/>Change of benefit at +/- 10 % heat utilized</b> | <b>€/a</b> | <b>4 134</b>   | <b>7 839</b>  | <b>18 460</b>  | <b>25 803</b>       |

<sup>1)</sup> Für einen Wärme-Abgabepreis von (assuming a revenue for sold heat of): 3 ct/ $\text{kWh}_{\text{th}}$

Tab. 2

Spezifische Kosten für die Verwertung von Gärresten ohne Aufbereitung und mit Trocknung in einem Bandrockner  
 Table 2: Specific costs for the recycling of digestate without treatment and drying in a belt dryer

|   | ohne Aufbereitung<br>Without treatment                     | Bandrockner<br>Belt dryer                                  |
|---|--|--|
| Spezifische Kosten<br>Specific costs                        | [€/m <sup>3</sup> Gärrest]<br>[€/m <sup>3</sup> Digestate] | [€/m <sup>3</sup> Gärrest]<br>[€/m <sup>3</sup> Digestate] |
| Investition und Instandhaltung<br>Invest and maintenance    | 1,50   | 2,80   |
| Energiekosten <sub>el.</sub><br>Energy costs <sub>el.</sub> | 0,40   | 1,80   |
| Energiekosten <sub>th.</sub><br>Energy costs <sub>th.</sub> |  | 2,60   |
| Personal<br>Personnel                                       |  | 0,20   |
| Ausbringung<br>Application                                  | 2,00   | 2,10   |
| Transport<br>Transport                                      | 2,40   | 2,30   |
| Summe Kosten<br>Sum costs                                   | 6,30   | 11,70  |
| <b>Einnahmen<br/>Revenue</b>                                |  |  |
| Nährstoffe<br>Nutrients                                     | 4,40   | 4,30   |
| Summe Einnahmen<br>Sum revenue                              | 4,40   | 4,3  |
| Gesamt<br>Total   | 1,90   | 7,4  |
| Differenz<br>Difference                                     |  | 5,5  |
| Ohne Wärmekosten<br>Without heat costs                      |  | 2,9  |

2 500 MWh benötigt. Dies entspricht etwa 80 % des Abwärmepotenzials der Biogasanlage.

Durch die Trocknung lässt sich die Festphase separierter Gärreste stabilisieren, jedoch reduzieren sich die Kosten für Lagerung und Ausbringung nicht, da zwei Produkte getrennt verwertet werden müssen. Die Trocknung der Gärreste ist wirtschaftlich nur dann interessant, wenn der Gärrest nach der Trocknung gewinnbringenden Verwertungspfad zugeführt wird. Eine Einstufung von Gärresten als Regelbrennstoff nach BImSchV ist ausgeschlossen, sobald Gülle oder Kot mit vergoren werden. In diesem Fall wäre eine Sondergenehmigung mit umfangreichen Auflagen notwendig. Für Gärreste rein pflanzlichen Ursprungs ist der Regelungsbedarf unklar. Wird das Aufbereitungsprodukt nicht als Düngemittel verwendet, erlischt jedoch der Anspruch auf den KWK-Bonus und die positive Wirkung des Bonus auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage geht verloren.

**Wärmenutzungspfad Gewächshausbeheizung.** Gewächshäuser können große Wärmemengen über einen langen Zeitraum abnehmen, was einerseits zu verlässlichen Erlösen und an-

dererseits zu niedrigen Wärmebereitstellungskosten für den Gewächshausbetreiber führt. Im folgenden Beispiel wird eine Wärmebereitstellung für verschiedene Kulturführungen sowie zwei verschiedene Gewächshausgrößen vorgestellt.

Beim Zierpflanzenbau wird zwischen drei kulturspezifischen Temperaturbereichen unterschieden:

- „Kalt“ (< 12 °C)
- „Temperiert“ (12-18 °C)
- „Warm“ (>18 °C).

Wie bei der Gärresttrocknung wird eine Biogasanlage mit 526 kW<sub>el</sub> betrachtet. Es stehen rund 70 % der erzeugten Wärmeenergie, rund 3 200 MWh thermisch pro Jahr, für Heizzwecke zur Verfügung. In **Tabelle 3** ist der Wärmebedarf der unterschiedlichen Kulturen und Gewächshausgrößen gegenübergestellt.

Im Berechnungsbeispiel wird anstatt einer Wärmebereitstellung durch Öl eine Grundlastabdeckung durch Biogasabwärme angenommen, eine Ölheizung sichert die Spitzenlast ab. Die entsprechenden Kosten für die Abdeckung der Spitzenlast sind in den Berechnungen berücksichtigt.

Die Gewächshausbeheizung ist zwar als Wärmenutzungsverfahren in der Positivliste des EEG (2009) gelistet – ist jedoch an die Bedingung gekoppelt, dass der Ersatz einer fossilen Wärmenutzung in gleicher Menge erfolgt und die Mehrkosten für die Wärmebereitstellung mindestens 100 Euro pro kW Wärmeleistung betragen. Diese EEG-Forderung wird im folgenden Berechnungsbeispiel erfüllt.

Weiterhin wird angenommen, dass der Biogasanlagenbetreiber die Wärme zu 3 ct/kWh<sub>th</sub> verkauft. Damit ergeben sich neben dem KWK-Bonus zusätzliche Einnahmen aus dem Verkaufserlös. Für den Gewächshausbetreiber im Zierpflanzenbau „kalt“ ergeben sich unter den oben genannten Wärmekosten und trotz zusätzlicher Investitionen für eine Wärmeleitung Kostenvorteile in Höhe von 10 570 bzw. 78 473 €/a verglichen mit einer alleinigen Beheizung mit Öl (**Tabelle 4**). Den Berechnungen liegt

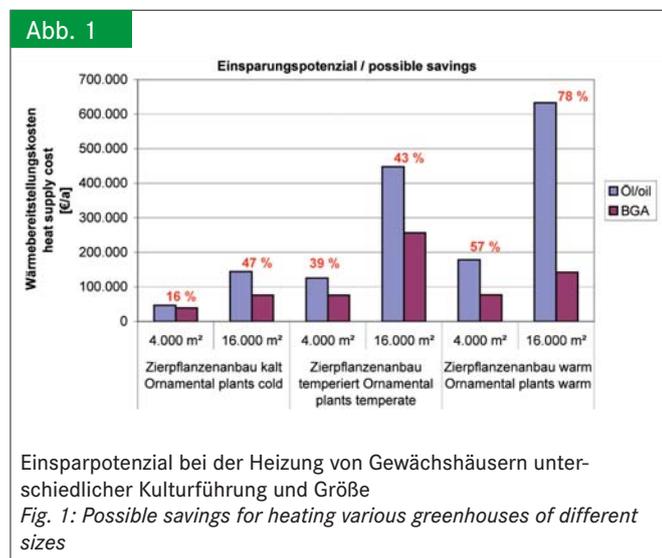
Tab. 3

Jahreswärmebedarf von Gewächshäusern und Ausnutzung des Abwärmepotenzials einer 500 kW<sub>el</sub> BGA bei unterschiedlicher Kulturführung und Gewächshausgröße

Table 3: Annual heat requirement of different greenhouses and amount of excess heat utilization from a 500 kW<sub>el</sub> biogas plant

| Kulturführung<br>culture  | Zierpflanzenanbau<br>Ornamental plants |        |                         |        |              |        |
|---|--|--------|-------------------------|--------|--------------|--------|
|   | Kalt<br>Cold                           |        | Temperiert<br>Temperate |        | Warm<br>Warm |        |
| Unterglasfläche [m <sup>2</sup> ]<br>Greenhouse size  | 4 000                                  | 16 000 | 4 000                   | 16 000 | 4 000        | 16 000 |
| Zur Beheizung notwendige<br>Wärmemenge [MWh/a]<br>Amount of heat required   | 414                                    | 1 450  | 1 320                   | 4 812  | 1 924        | 6 975  |
| Genutztes Abwärmepotenzial einer<br>500 kW <sub>el</sub> BGA [%]<br>Utilized heat potential<br>of a 500 kW <sub>el</sub> biogas plant | 13,3                                   | 46,4   | 42,2                    | 100    | 61,6         | 100    |

ein Ölpreis von 70 Cent/l zu Grunde. Für die Kulturführung „temperiert“ und „warm“ (**Abbildung 1**) steigen die Einsparpotenziale durch den höheren Wärmeumsatz bei nur geringem Anstieg der Fixkosten auf bis zu 78 % an.



## Schlussfolgerungen

Schon heute sind einige Wärmenutzungsverfahren energieeffizient und wirtschaftlich. Die hier vorgestellten Berechnungen zeigen sehr deutlich, dass sich die wirtschaftliche Situation mit einem hohen Anteil der Wärmenutzung stark verbessern kann. Zusätzlich steigt die Energieeffizienz der Anlagen. Bei 30 %

Wärmenutzungsanteil werden bei Biogasanlagen mit 150 kW Leistung bereits Gesamtkapitalrentabilitäten von über 12 % erzielt. Kleinere Biogasanlagen müssen einen deutlich höheren Wärmenutzungsgrad erreichen oder den Verkaufserlös für Wärme steigern, um wirtschaftlich betrieben werden zu können. Das EEG 2009 berechtigt eine Gärresttrocknung zum Bezug des KWK-Bonus. Dies kann vor allem bei größeren Biogasanlagen eine sinnvolle Wärmenutzung sein. Durch die Trocknung von Gärrest können große Wärmemengen genutzt werden und die Lagerfähigkeit der Festphase des Gärrestes wird erhöht. Wirtschaftlich interessant ist die Gärresttrocknung dann, wenn keine alternative Wärmenutzung zur Verfügung steht und die getrockneten Gärreste anderen Vermarktungswegen als Düngemittel zugeführt wird.

Die Beheizung von Gewächshäusern ist, durch eine ganzjährig hohe Wärmeabnahmen eine interessante Wärmenutzungsmöglichkeit für Biogasanlagen. Es lassen sich sehr große Mengen Heizöl ersetzen, was zum einen die Kosten für den Gewächshausbetreiber senkt, zum anderen die Energieeffizienz und die wirtschaftliche Situation der Biogasanlage verbessert.

## Autoren

**Stefan Nakazi, Dr. Anke Niebaum, Stefan Hartmann und Dr. Sebastian Wulf** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt, Bereich Systembewertung, Pflanzenproduktion, Energie

**Helmut Döhler** ist am KTBL Bereichsleiter Systembewertung, Pflanzenbau, Energie, Head of Department Crop Production, LCAnalysis, Energy, E-Mail: h.doehler@ktbl.de

**Tab. 4**

Kostenvergleich der Wärmebereitstellung mittels Öl- und Biogasheizung am Beispiel von zwei Gewächshausgrößen bei „kalter“ Kulturführung

Table 4: Cost of heat supply using mineral oil and biogas for two sizes of greenhouses in cold cultivation

| Unterglasfläche<br>Greenhouse size  | m <sup>2</sup> | 4 000                    |               | 16 000                   |               |
|---|----------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
|   |                | Ölheizung<br>Oil heating | BGA<br>Biogas | Ölheizung<br>Oil heating | BGA<br>Biogas |
| <b>Wärmebereitstellung durch<br/>Heat supply by</b>   |                |                          |               |                          |               |
| <b>Kosten<br/>Costs</b>   |                |                          |               |                          |               |
| Investition<br>Invest   | €              | 86 614                   | 141 057       | 155 539                  | 216 861       |
| Summe veränderliche Kosten (Reparatur und Brennstoffkosten)<br>Sum of variable cost (maintenance and fuel)  | €/a            | 37 770                   | 25 282        | 129 174                  | 55 765        |
| Summe fixe Kosten (Abschreibung, Zinsen, Versicherung)<br>Sum of fix costs (write-off, interest, insurance) | €/a            | 7 940                    | 12 930        | 14 258                   | 19 879        |
| Summe Arbeit<br>Sum personnel   | €/a            | 390                      | 390           | 390                      | 390           |
| Summe Gemeinkosten<br>Sum overhead  | €/a            | 500                      | 500           | 500                      | 500           |
| Summe Kosten<br>Sum costs   | €/a            | 46 625                   | 39 102        | 144 348                  | 76 534        |
| Differenz Öl-/Biogasheizung<br>Difference oil/biogas heating  | €/a            | 7 523                    |               | 67 813                   |               |
| Einsparung Biogas- gegenüber Ölheizung<br>Savings biogas vs oilheating                                      | %              | 16,1                     |               | 47,0                     |               |