

## **Trocknung von Energieholz im Satztrockner mit Biogas-Wärme**



**Nr. V – 19/2016 (2. Auflage)**

---

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe V (Ökonomie) im „Biogas Forum Bayern“ von:

---

## Inhaltsverzeichnis

1	Trocknen an Biogasanlagen.....	2
2	Trocknung landwirtschaftlicher Güter.....	2
3	Wie funktioniert die Trocknung?.....	3
4	Hohe Flexibilität mit Satz- und Containertrocknung .....	4
5	Stromverbraucher Gebläse .....	4
6	Beispielhafte Wärmemenge für Trocknungszwecke aus einer Biogasanlage mit Wärmenetz .....	5
7	Auslegung der Trocknungsanlage.....	6
8	Wirtschaftlichkeit .....	6
9	Vergleich der Trocknungsgüter .....	7
10	Einfluss der Betriebsweise auf die Trocknungskosten für Hackgut.....	7
11	Zusammenfassung.....	8
	Quellen .....	8

## 1 Trocknen an Biogasanlagen

Die Wärmenutzung ist an Biogasanlagen vielmals nur in begrenztem Maße möglich. Durch die oft weiten Entfernungen zur Wohnbebauung oder zu Gewerbeobjekten ist eine ganzjährige Wärmenutzung kaum möglich. Vor allem in den Sommermonaten ist ein deutlicher Überschuss an Niedertemperaturwärme vorhanden. Die Verwendung dieser Energiemengen zur Trocknung landwirtschaftlicher Güter kann eine Maßnahme sein, sowohl die Wirtschaftlichkeit der Anlage als auch die positive Umweltwirkung zu verbessern.

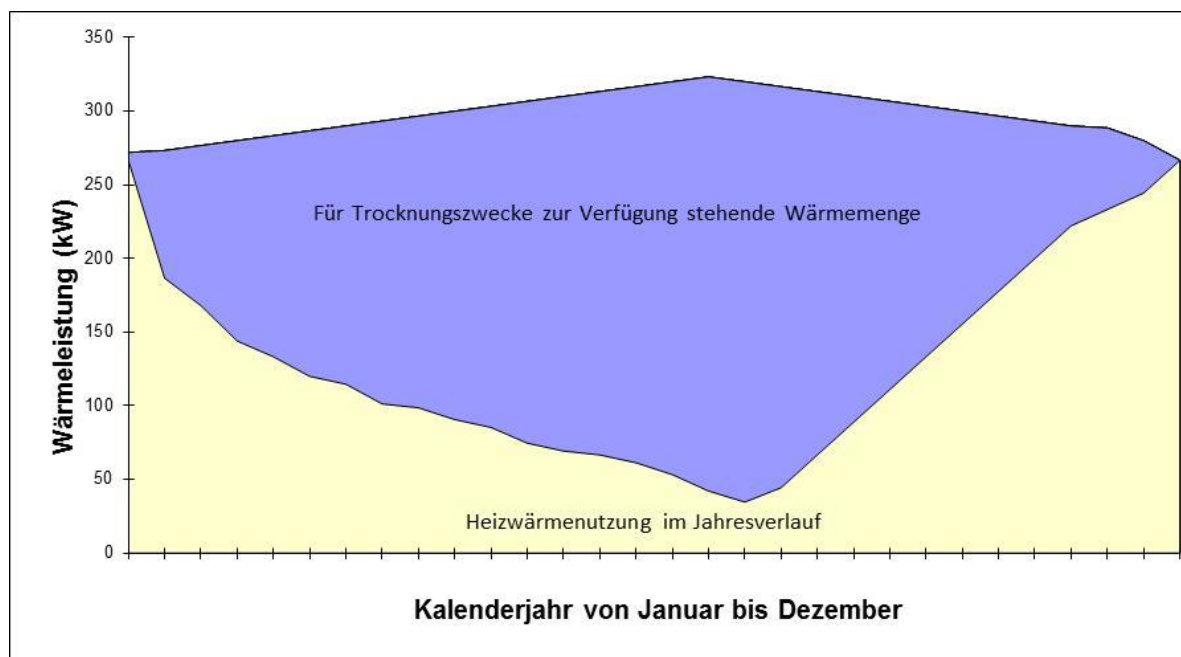


Abb. 1: Jahreswärmebilanz einer Biogasanlage mit gut ausgebauter Heizwärmenutzung über ein Kalenderjahr: Die gelbe Fläche zeigt die Heizwärmemenge im angeschlossenen Wärmenetz an, die blaue Fläche stellt die Wärmeenergiemenge dar, die für Trocknungszwecke zur Verfügung steht.

## 2 Trocknung landwirtschaftlicher Güter

Im Umfeld von Biogasanlagen ist das Angebot an Gütern groß, deren Qualität durch die Trocknung verbessert oder erhalten werden kann und die in der Land- und Forstwirtschaft anfallen. Dennoch ist es nötig, die eventuell möglichen Trockengüter näher zu betrachten. Da außerhalb der Heizperiode ein konstantes Wärmeangebot an der Biogasanlage vorherrscht, müssen sich die Trockengüter danach orientieren. Bei vielen Gütern wird unter diesem Aspekt ersichtlich, dass eine Differenz aus dem Wärmeangebot und dem Wärmebedarf besteht.

Ein gleichmäßiger Bedarf kann sich bei der Bereitstellung von Holzbrennstoffen einstellen. Hier ist neben dem relativ gleichmäßigen Trockenbedarf auch von Vorteil, dass ein Vorlagern über mehrere Wochen relativ unproblematisch ist. Regional unterschiedlich fallen in begrenztem Umfang z. B. Trockengüter wie Kräuter an, die eine gute Option für Biogasanlagen darstellen können.

Einige Trocknungstechniken sind auch in der Lage, verschiedene Güter verarbeiten zu können. In allen Fällen ist vor einer Investitionsentscheidung festzulegen, welche Güter an der

Anlage kostendeckend getrocknet werden können. Vielfach sind der zusätzliche Umschlag von Gütern oder die zu weite Entfernung zur Biogasanlage und damit zu hohe Kosten in der Logistikkette das entscheidende Hindernis.

Trockengut entw. frisch	Zeitraum	Vorlagern Tagen	Trockendauer Tagen	Durchsatzleistung im 200 kW Satzrockner	Wassergehalt Input in %
Stückholz	ganzjährig	ja	5 bis 25	1,0 Rm/h	40
Hackschnitzel	ganzjährig	ja	3 bis 10	3,0 Srm/h	35
Getreide *	Juni - Aug., wetterabhängig	max 2	bis 2	1,8 t/h	17
Mais *	Okt. / Nov.	max 1	bis 2	0,6 t/h	28,5
Gras *	Mai-Okt., wetterabhängig	nein	bis 3		
Kräuter *	Juni-Okt.	nein	bis 1		
Hopfen	Aug./Sept.	nein	bis 1		

\*) Temperaturen über 45°C können das Trockengut schädigen. Bei Gras wird Futtereisweiß denaturiert.

Tab. 1: Landwirtschaftliche Trockengüter für Biogasanlagen: Wann können oder müssen diese getrocknet werden?

### 3 Wie funktioniert die Trocknung?

Für die hier relevanten Produkte erfolgt die Trocknung durch Luft, also mittels Konvektionstrocknung. Bei Trocknungstemperaturen unter 100°C wird dem Trockengut Wasser durch Verdunsten entzogen. Der Prozess der Lufttrocknung ist abhängig von der Lufttemperatur und -feuchte, der Luftgeschwindigkeit im Trockner und der Beschaffenheit der Oberfläche des Trockengutes. Für die Belüftungstrocknung ist die Luftfeuchtigkeit von großer Bedeutung. Wird die Trocknungsluft angewärmt, so ist die Luft in der Lage deutlich mehr Feuchtigkeit aufzunehmen. Damit lässt sich der Trocknungsprozess wesentlich beschleunigen. Die Zusammenhänge zwischen dem Vermögen von Luft, Feuchtigkeit aufzunehmen, der Lufttemperatur und der Luftvorwärmung lassen sich gut im sogenannten Mollier-Diagramm darstellen, das damit Basis für die Kalkulation einer Trocknungsanlage ist.

Während der Trocknung wird die Feuchtigkeit von der Oberfläche des Trockengutes entfernt. Von außen nach innen entsteht ein Konzentrationsgefälle. Es ist festzustellen, dass der Transport der Feuchtigkeit zur Gutoberfläche unterschiedlich ausfällt. So kann z. B. die Feuchtigkeit in Faserrichtung meist schneller abwandern. Als Konsequenz hieraus sind feine Trockengüter durch ihre größere Oberfläche in der Lage, Feuchtigkeit schneller abzugeben. Dies lässt sich gut beim Vergleich von Stückholz mit Hackschnitzeln darstellen. Während waldfrisches Hackgut in etwa 5 Tagen auf einen Wassergehalt von unter 20% getrocknet werden kann, ist hierfür bei Stückholz wegen der kleineren spezifischen Oberfläche eine etwa 3-fach höhere Trockenzeit nötig.

Im Idealfall wird die Energiemenge, die zur Erwärmung der Trocknungsluft aufgewendet wird, vollständig zum Verdunsten oder Verdampfen von Wasser aus dem Trockengut genutzt (0,627 kWh/kg Wasser). Bei zunehmender Verringerung der Feuchte im Trockengut dauert es jedoch zunehmend länger, den Feuchteabtransport

aufrecht zu halten. Im tatsächlichen Trocknungsbetrieb wird deshalb die Trocknungsluft das Trockengut teilgesättigt verlassen und deshalb der Wirkungsgrad der Trocknung geschmälert. Dies trifft vor allem bei Trockengütern zu, die auf einen niedrigen Wassergehalt heruntergetrocknet werden sollen.

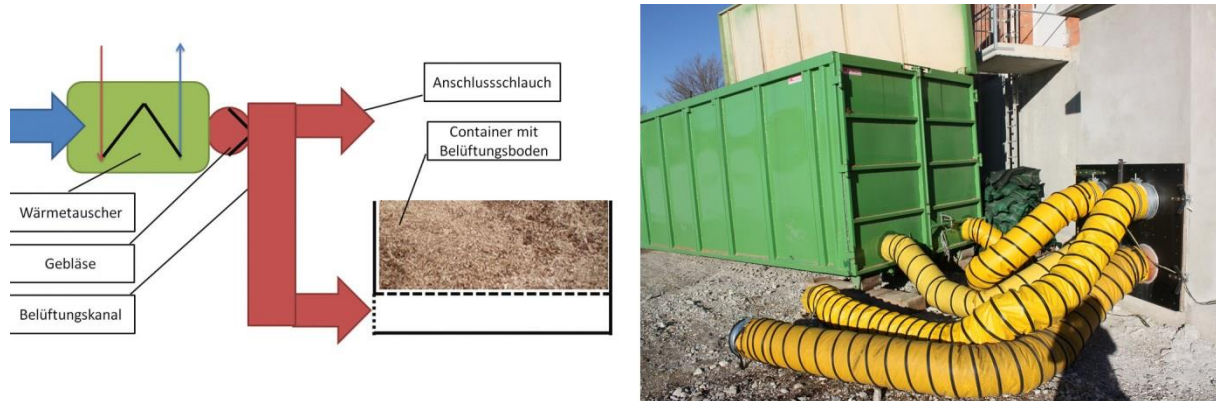


Abb. 2: Prinzipieller Aufbau eines Satzrockners: Links schematisch mit Anordnung von Wärmetauscher, Gebläse und Querschnitt eines Containers, rechts in der Praxis

#### 4 Hohe Flexibilität mit Satz-, Container- und Anhänger-trocknung

Container ermöglichen eine arbeitssparende Logistik und eine einfache Zwischenlagerung. An der Biogasanlage wird der Container über einen flexiblen Luftschlauch an die Trocknung angeschlossen. Container-Trocknungsanlagen sind im Leistungsbereich ab etwa 100 kW Wärmeleistung erhältlich. Teilweise werden auch Aufbauten für Anhänger angeboten, die z. B. einen Anschluss des Luftschlauches über den Kornschieber ermöglichen. Durch den relativ einfachen Aufbau sind die Investitionskosten relativ niedrig. Soll der Umschlag der Trockengüter ausschließlich an der Trocknungsanlage erfolgen, kann die Installation der Technik auch in Gebäude, also in eine ortsfeste Anlage erfolgen. Die Trocknungsqualität der Satz-trocknung ist für Energieholz ausreichend

Durchlauftrockner sind zumeist erst für Wärmeleistungen von über 300 kW erhältlich, die Anschaffungskosten sind deutlich höher als bei Satzrocknern. Der Verbrauch an thermischer und elektrischer Energie ist jedoch geringer. Diese Trocknerbauart sind auch in der Lage weitere Produkte wie z. B. Getreide oder Mais zu trocknen.

#### 5 Stromverbraucher Gebläse

Um die Trocknungsluft durch die Anlage zu befördern, ist ein Gebläse nötig. Die Auslegung des Gebläses (meist Radiallüfter) sollte die Leistungsfähigkeit des Trockners nicht einschränken, jedoch auch bei der Trocknung von groben Gütern oder im Teillastbetrieb den Stromverbrauch nicht unnötig erhöhen. Deshalb ist neben einer gewissenhaften Auslegung auch eine Reduzierung der Gebläsedrehzahl und damit auch eine Drosselung des Stromverbrauchs über einen Frequenzumwandler nötig. Für die Dimensionierung eines Gebläses ist die benötigte Luftmenge in  $\text{m}^3/\text{h}$  nötig. Einfluss darauf haben vor allem:

- Die zu verdampfende Wassermenge
- Der Wirkungsgrad des Trockners (aus Trocknerbauart, Trockengut, Betriebsweise des Trockners)
- Die Vorwärmung der Trockenluft (Temperaturdifferenz vor/nach Wärmetauscher)
- Die Betriebszeit

Zusätzlich ist der Gesamtwiderstand (auch Pressung genannt in Pa) zu ermitteln, den das Gebläse zu überwinden hat. Dieser lässt sich ableiten aus:

- Schütthöhe und Strömungswiderstand des Trockengutes
- Strömungsgeschwindigkeit durch das Trockengut
- Strömungswiderstand weiterer Anlagenteile wie Kanäle, Wärmetauscher

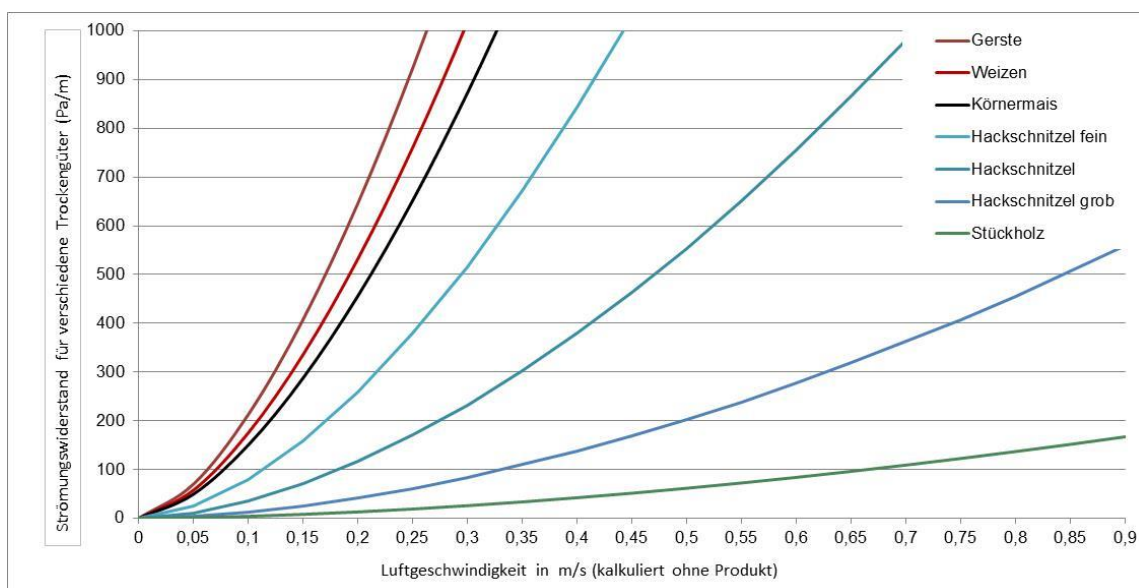


Abb.3: Strömungswiderstand verschiedener landwirtschaftlicher Schüttgüter: Bei Hackschnitzel besteht eine hohe Bandbreite zwischen feinem und grobem Material.

## 6 Beispielhafte Wärmemenge für Trocknungszwecke aus einer Biogasanlage mit Wärmenetz

Um die Kosten für eine Trocknungsanlage aber auch die möglichen Durchsätze verschiedener Trockengüter abschätzen zu können, sind zuerst die verfügbaren Wärmemengen zu erfassen. Hierzu wurde entsprechend Abbildung 1 die Wärmemenge definiert, die für die Trocknung zur Verfügung stehen. Aus Abbildung 1 ist ersichtlich, dass selbst bei einer umfangreichen Nutzung der Wärme für Gebäudeheizzwecke noch eine beträchtliche Wärmemenge in den Sommermonaten für Trocknungszwecke zur Verfügung steht.

- Elektrische Leistung der Biogasanlage (Gasmotor): 360 kW
- Wärmemenge Biogasanlage nach Fermenterheizung: 2.679 MWh/a
- Max. Wärmelast, Gebäudeheizung mit Netz: 270 kW
- Wärmemenge Gebäudeheizung mit Netzverlust: 1.157 MWh/a
- Wärmemenge Biogasanlage für Trocknungszwecke: 1.522 MWh/a
- Nutzbare Wärmemenge für Trocknung: 1.350 MWh/a

## 7 Auslegung der Trocknungsanlage

Aus den Wärmemengen lassen sich die Eckdaten für eine Trocknungsanlage ableiten, in diesem Fall ein Satztrockner, der vor allem für die Trocknung von Brennholz und Hack-schnitzeln gut geeignet ist. Satztrockner können nur einen Teil des Wärmeinhalts der Luft zur Trocknung umsetzen. Der thermische Nutzungsgrad des Trockners liegt bei etwa 40 %, was einem spezifischen Wärmebedarf von 1,52 kWh pro kg verdampftem Wasser entspricht (siehe KTBL: Faustzahlen Biogas). Die Auskopplung der Wärme aus Abgaswärmetauscher und Motorkühlung ermöglicht eine Erwärmung der Trocknungslufttemperatur um 40°C auf etwa 60°C. Das Trocknungsgut wird in Containern mit einem Nutzvolumen von 30 m<sup>3</sup> eingefüllt. Die Container sind mit einem Anschlussstutzen für einen Luftschlauch ausgestattet. Die Trocknungsluft wird über einen Belüftungsboden verteilt. Für grobes Trockengut wie Stückholz ergeben sich lange Trocknungszeiten von hier angenommenen 12 Tagen. Hieraus ergibt sich bei einer Auslegungsleistung von 200 kW ein Bedarf von 10 Containern.

- Spez. Wärmebedarf für Trocknung: 1,52 kWh/kg
- Dimensionierung: 10 Container mit 30 m<sup>3</sup>
- Schütthöhe bei Holz 2 m
- Auslegungsleistung Trockner: 200 kW (Überlast bis 300 kW möglich, dann allerdings höherer Stromverbrauch)
- Lufttemperatur: Vor Wärmetauscher 20°C; nach Wärmetauscher 60°C

## 8 Wirtschaftlichkeit

Um die Trocknungskosten abschätzen zu können, wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung zur Berechnung der Kapitalkosten aufgestellt. Ausgehend von einer Gesamtinvestition von 120.750 € errechnen sich bei üblichen Annahmen für Annuität und Instandhaltung (siehe Tabelle 2) Kapitalkosten von 11.109 €/a und Instandhaltungskosten von 2.400 €/a.

	<b>Anschaffungskosten [€]</b>	<b>Nutzungsdauer [a]</b>	<b>Zinssatz kalk. [%]</b>	<b>Annuität [%]</b>	<b>Kapitalkosten [€/a]</b>	<b>Instandhaltung VDI 2067 Tab. 5 [%]</b>	<b>Instandhaltung [€/a]</b>
<b>10 Container</b>	60.000	14,0	4,0	9,5	5.700	2,0	1.200
<b>Steuerung</b>	5.000	14,0	4,0	9,5	475	5,0	250
<b>Wärmetauscher, Pumpe, Gebläse</b>	40.000	14,0	4,0	9,5	3.800	2,0	800
<b>hydr. Einbindung</b>	10.000	20,5	4,0	7,2	720	1,5	150
<b>Planung, Genehmigung</b>	5.750	20,5	4,0	7,2	414		
<b>Summe bzw. Mittelwerte</b>	<b>120.750</b>	<b>14,4</b>	<b>4,0</b>	<b>9,2</b>	<b>11.109</b>	<b>2,1</b>	<b>2.400</b>

Tab. 2: Abschätzung der Investitionskosten, der Kapital- und Instandhaltungskosten

## 9 Vergleich der Trocknungsgüter

Bei der Bestimmung der Trocknungskosten wurde angenommen, dass die Wärme in den Sommermonaten zur Vereinfachung der Rechnung kostenfrei zur Verfügung steht. Weiterhin beruht die Kalkulation auf der optimistischen Annahme, dass die Anlage über die komplette Sommersaison betrieben wird (also 5760 h). Die Kapitalkosten betragen hierbei etwa 50 bis 70% der Gesamtkosten. Zu beachten ist, dass die Trocknungsleistung stark von dem Wassergehalt des Trockengutes abhängt. Muss mehr Wasser ausgetrieben werden, verlängert sich die Trocknungszeit entsprechend. Für Stückholz ist wegen der großen Stückigkeit von Umlaufzeiten von 12 Tagen auszugehen, was die Anzahl der Container auf 10 Stück erhöht. Insgesamt ergeben sich niedrige Trocknungskosten, solange eine hohe Auslastung möglich ist. Zu erwähnen ist jedoch, dass für den Transport und für den Umschlag zumeist weitere Kosten anfallen, die individuell berücksichtigt werden müssen.

Trockengut		Hackgut (H)	Stückholz (S)
Durchsatzleistung	t/h nach Trocknung (H: Srm/h; S: Rm/h) *	2,97	1,01
Wassergehalt vor Trocknung	%	35	40
Wassergehalt nach Trocknung	%	20	15
max. Betriebszeit	(aus Substrat- oder Wärmefall) h	5.760	5.760
Anzahl der Container	gerundet	7	10
Umlaufzeit	Tage	3	12
Leistungsaufnahme des Gebläses	kW	8	4
Trocknungskosten pro Einheit	€/t (H: €/Srm; S: €/Rm)*	1,33	3,21

\* Rm (auch „Ster“): In einem Würfel mit 1 m Kantenlänge gestapeltes Fichtenholz mit einer Dichte von 311 kg/Rm  
 Srm: Inhalt eines Würfel mit 1 m Kantenlänge geschüttetes Fichtenhackgut mit einer Dichte von 189 kg/Srm

Tab. 3: Trocknungskosten für unterschiedliche landwirtschaftliche Güter

## 10 Einfluss der Betriebsweise auf die Trocknungskosten für Hackgut

Ausgehend von der vorgehenden Kalkulation wurden für Hackschnitzel die Parameter wie Umlaufzeit, thermischer Nutzungsgrad und damit die Luftmenge und die Leistungsaufnahme des Gebläses verändert.

Bei der Variante Hackgut-Effektiv (H-eff) wurde die Umlaufzeit auf 5 Tage verlängert und damit der Nutzungsgrad von 40 auf 50% erhöht. Dadurch erhöht sich der Bedarf an Containern, der hier auf 10 limitiert ist. Die Begrenzung der Containerzahl ermöglicht dabei eine Reduzierung der Wärmeleistung auf etwa 140 kW. Durch die wesentlich geringere Luftmenge zur Durchlüftung lässt sich das Belüftungsgebläse mit verringerter Drehzahl und damit geringerem Stromverbrauch betreiben. Die Trocknungskosten pro Schüttraummeter (Srm) nehmen ab.

Eine weitere Variante stellt „H-sub“ dar. Hier wurde die Anlage im Sinne einer schnelleren Trocknung eingestellt, jedoch ist hier der thermischen Nutzungsgrad mit etwa 30 % „suboptimal“. Damit reduzieren sich die Umlaufzeiten auf 2 Tage und der Bedarf an Containern von 7 auf 4. Weil die thermische Leistung auf 200 kW begrenzt ist, nimmt die Durchsatzleistung etwas ab. Ein erheblicher Anstieg ist bei den Stromkosten zu erwarten, die wegen der höheren Leistungsaufnahme des Gebläses deutlich ansteigen und damit auch die Trocknungskosten nach oben treiben.



Trockengut		H-sub	Hackgut (H)	H-eff
Durchsatzleistung	t/h nach Trocknung (H: Srm/h; S: Rm/h) *	2,43	2,97	2,48
Wassergehalt vor Trocknung	%	35	35	35
Wassergehalt nach Trocknung	%	20	20	20
max. Betriebszeit	(aus Substrat- oder Wärmeanfall) h	5.760	5.760	5.760
Anzahl der Container	gerundet	4	7	10
Umlaufzeit	Tage	2	3	5
Leistungsaufnahme des Gebläses	kW	11	8	3
Trocknungskosten pro Einheit	€/t (H: €/Srm; S: €/Rm)*	1,84	1,33	1,25

Tab. 4: Veränderte Einstellungen führen zu stark variierenden Trocknungskosten

## 11 Zusammenfassung

Satzrockner stellen eine sinnvolle Ergänzung zu Biogasanlagen dar, um eine Wärmenutzung über die Sommermonate zu ermöglichen. Vor allem für Hackgut oder Stückholz lässt sich damit eine Verbesserung der Brennstoffqualität und eine Steigerung der Wertschöpfung für den Anlagenbetreiber erreichen, sobald sich das Logistikkonzept vernünftig abstimmen lässt und eine befriedigende Auslastung gegeben ist. Für die Nutzung der Sommerwärme könnten auch andere Güter wie z. B. Kräuter oder Schnittholz in Frage kommen, die im Vergleich zu Brennholz einen höheren Erlös ermöglichen. Die hier diskutierte Wärmenutzung stellt eine Ergänzung zur Gebäudebeheizung dar, kann diese jedoch wegen der geringeren Wertschöpfung nicht ersetzen.

## Quellen

Energetische Betrachtung von Trocknungsverfahren; Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung; Ralph Schelle, Kai Sander; 1990

Pressure resistance to air flow during ventilation of different types of wood fuel chip; Department of Agricultural Engineering, Bygholm, Denmark; Erik Flojgaard Kristensen; 1999

Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen; Bayerisches Landesamt für Umwelt; M. Gaderer, M. Lautenbach, T. Fischer (alle ZAE); 2007

Verwertung von Wärmeüberschüssen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen; Bremer Energie Institut; Wolfgang Schulz; 2007

Heizwerterhöhung durch Hackschnitzeltrocknung in einfachen Anlagen; Vortrag aus CARMEN-Veranstaltung; Hochschule Rosenheim, H. Kreimes; 2008

Direkte Trocknung mit Abgasen aus KWK-Anlagen; ASUE Berlin; 2014

Energie aus Biomasse; Springer Verlag; M. Kaltschmitt, H. Hartmann, H. Hofbauer; 2009

Pressure resistance during ventilation of different types of wood chips as a function of particle size and particle form; D. Kuptz, P. Turowski, H. Hartmann; Technologie- und Förderzentrum, Straubing; EU Biomass Conference and Exhibition 2013

Faustzahlen Biogas; KTBL, Darmstadt; Helmut Döhler; 2009

Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern.

## Arbeitsgruppe V (Betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung)

hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Gesetzliche und politische Rahmenbedingungen
- Betriebswirtschaft
- Volkswirtschaft
- Organisation und Management
- Finanzierung

## Mitglieder der Arbeitsgruppe

- **Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Rosenheim**
- **Bayerischer Bauernverband**
- **Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie**
- **Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N.)**
- **Fachverband Biogas e.V.**
- **Landesanstalt für Landwirtschaft**  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur
- **OmniCert GmbH**
- **Technische Universität München**



### Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik  
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.  
Vöttinger Straße 36  
85354 Freising  
Telefon: 08161/71-3460  
Telefax: 08161/71-5307  
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>  
E-Mail: [info@biogas-forum-bayern.de](mailto:info@biogas-forum-bayern.de)