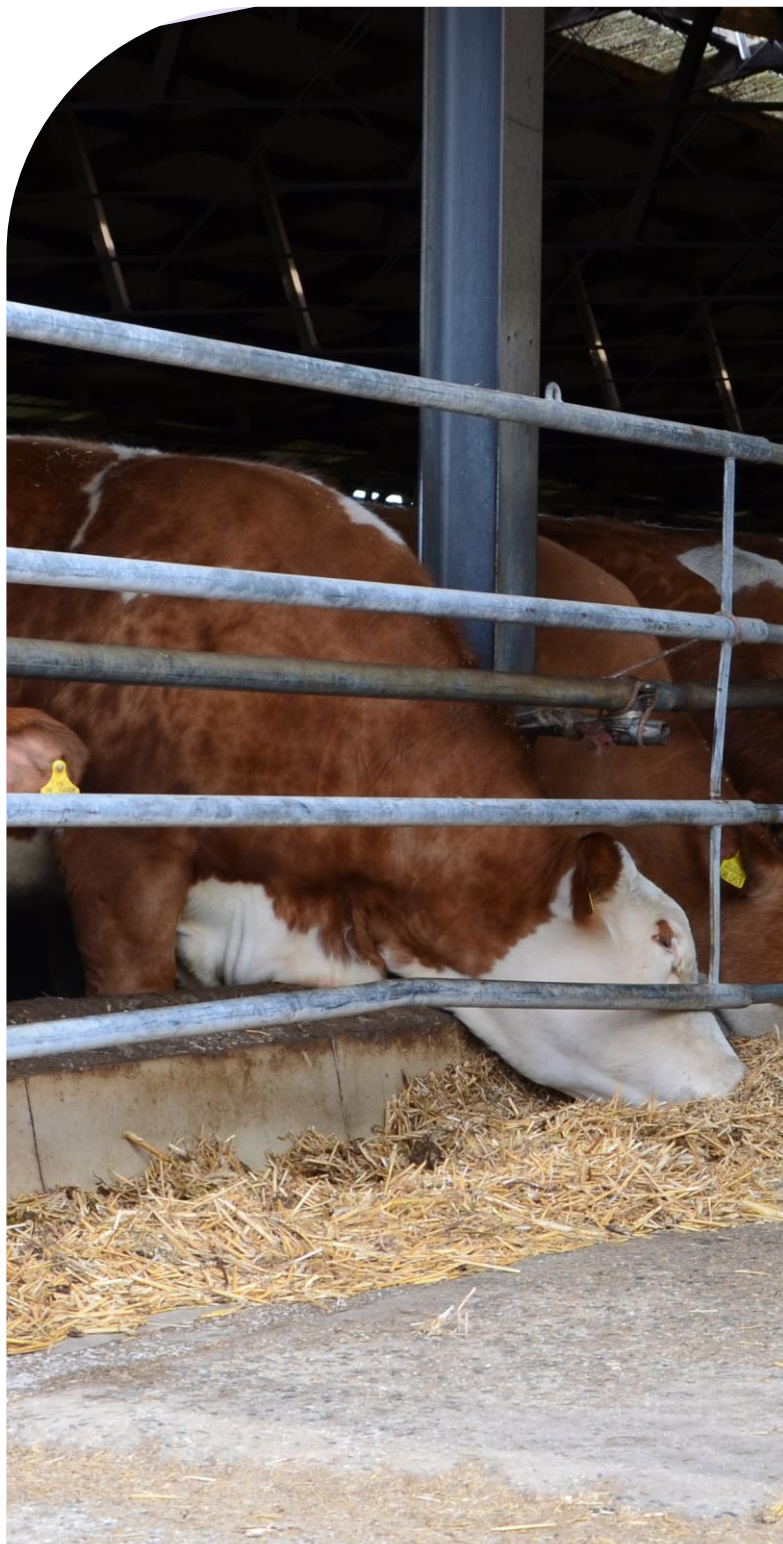


## Standardinfoblatt – Trocknung



### Zielgruppe

- In der Zielgruppe sind landwirtschaftliche Biogasanlagen, welche die Abwärme aus dem Verbrennungsprozess des Biogases nicht in einem sekundären Prozess einsetzen oder nur teilweise verwerten, und dadurch Abwärme zu Trocknungszwecken auf dem eigenen Betriebsgelände oder für Dritte zur Verfügung stellen können.

### Was braucht man zur Produkttrocknung?

- Trockner, möglichst in der Nähe des BHKW
- Freifläche für Trockner
- Überdachte Freifläche zur Lagerung von Ausgangsstoffen und getrocknetem Produkt; bei Hackschnitzeltrocknung nicht notwendig
- Anschluss an das Wärmetauschermodul des BHKWs
- Rohrleitungsbedarf
- Gebläse mit Frequenzumwandler, wenn nicht in Trockner verbaut
- Ggf. Abluftfilter
- Technik zur Beschickung und Entnahme der Ware
- Personal zur Bedienung und Wartung

### Treibende Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit

- Haupteinfluss: Auslastung des Trockners im Jahresverlauf
- Verkaufspreis der Wärme bei Nutzung durch Dritte bzw. Einkaufs- und Verkaufspreis des zu trocknenden Produkts bzw. Wertsteigerung eigener Produkte durch Trocknungsprozess
- KWK-Bonusfähigkeit
- Investitionskosten Trockner und Wärmeanschluss
- Stromverbrauch Trockner

## Überblick über zu trocknende Güter

Folgende Produkte werden in der Regel einer Trocknung unterzogen:

- Holz: Energieholz (Holzpellets, Holzhackschnitzel, Scheitholz) und Nutzholz
- Landwirtschaftliche Kulturen: Getreide, Mais, Hopfen, Luzerne und Gras (als Pellets oder Heu), Saatgut
- Gartenbaukulturen: Gewürze und Heilpflanzen
- Klärschlamm, Gülle, Hühnerkot

Ware	Trocknungszeitraum/ Vorlagerzeit	Trockenlufttemperatur max. in °C (Kornfeuchte ca. 15% und 20°C Ausgangstemp.)	Trockendauer [d]/ Erlössteigerung	Trocknerart	Abwärme-/ Zeitausnutzung
Holzhackschnitzel	ganzjährig/ Monate	flexibel nach Durchsatz	3-10/ 10 €/Srm <sub>FM</sub>	Satz Trockner, Container Schubwendetrockner	50% 75%
Nutzholz	ganzjährig/ abhängig von Lagerng	abhängig von Holzart	5-25 (Holzart!)/ nach Holzart	Kammertrockner	
Weizen	Juli bis September/ max. 2 Tage	76 82 86	bis 2/ 10€/tFM	Satz Trockner (Schichtdicke!) Umlauf Trockner Durchlauf Trockner	50% - -
Mais	September bis Dezember/ max. 1 Tag	95 110 150	bis 2/ 41€/tFM	Satz Trockner (Schichtdicke!) Umlauf Trockner Durchlauf Trockner	50% - -
Gerste	Juni bis Juli/ max. 2 Tage	87 92 96	bis 2/ 10€/tFM	Satz Trockner (Schichtdicke!) Umlauf Trockner Durchlauf Trockner	-50% - -
Gras/ Heu	Mai bis September/ max. 1 Tag	-	bis 3/ -	Warmluft-Hallen- Trockner	
Heil und Gewürzpflanzen	Juni bis Oktober/ max. 0,5 Tage	Kurzzeitig 100, dann abnehmend	bis 1/ bis 200 €/tFM	Band Trockner	75%
Klärschlamm	ganzjährig/ Monate	Keine Beschränkung	je nach Grad mech. Entw./ 25€/tFM	Band Trockner Warmluft-Hallen- Trockner	75% 75%

Sollen Güter getrocknet werden, welche im Jahresverlauf zeitlich begrenzt anfallen, ist die Kombination mehrerer unterschiedlicher Ausgangsstoffe von Vorteil, um den Trockner nach Möglichkeit über mehrere Monate vollständig auszulasten. Je nach anfallendem Volumen und nach Lagerfähigkeit der Ausgangsstoffe, sollte zwischen Satz Trocknern und Durchlauf Trocknern entschieden werden.

### Hintergrundinfo Projekt:

Im Biogasperspektivenprojekt wurden Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Biogasproduktion und seiner Co-Produkte an 15 Beispielanlagen in Thüringen untersucht. Dabei sind sowohl die Möglichkeiten der Weiternutzung der Biogasanlagen nach Auslaufen der ersten 20jährigen Vergütung betrachtet und gegenübergestellt worden. Aber auch die Anlagenoptimierung von Biogasanlagen mit fester EEG-Vergütung in den nächsten 10 Jahren konnte untersucht werden. Neben einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für jede Anlage wurde je nach Voraussetzungen individuell auf die Anlagen eingegangen. So konnten unter anderem drei Energieeffizienzberatungen, eine Ausschreibung, die Begleitung eines Biogasaufbereitungsprojektes mit Tankstelle und eine Substratumstellung durchgeführt werden. Daneben wurden über Seminare und Standardinfoblätter Informationen aus den individuellen Erfahrungen der Anlagen optimiert für die Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.



## Übersicht über Trockner

Die nachfolgende Tabelle zeigt die am häufigsten eingesetzten Trockner.

Trocknerart	Durchsatz/ sinnvolle Größenordnung	steuerbar	Preis	Wärmeausnutzung	Platzbedarf
Satz Trockner	geringere Durchsätze; ab 50 kWth	gering	kostengünstig	gering	gering
Kammertrockner	geringere Durchsätze	gering	mittlerer Preis	gering	gering
Schubwendetrockner	hohe Durchsätze; ab 300kW	gut	mittlerer bis hoher Investitionsaufwand	hoch	mittel
Bandrockner	sehr hohe Durchsätze; ab 200 kWth	gut	hoher Investitionsaufwand	hoch	hoch
Trommelrockner	Hohe Durchsätze; ab 300 kW	gut	mittlerer bis hoher Investitionsbedarf	hoch	hoch
Belüftungsboden	Hohe Durchsätze	gering	kostengünstig	gering	hoch

Der Platzbedarf von Satz Trocknern und Kammertrockner geht bei wenigen Quadratmetern los und kann beliebig groß werden. Diese Trockner haben häufig geringe Grundflächen und sind in die Höhe gebaut. Stehende Siloanlagen im Getreidesektor werden neben der Nutzung als Lager oft als Satz Trockner betrieben. Durchlauf Trockner wie Band- oder Trommelrockner haben dagegen meist eine größere Grundfläche, da die zu trocknenden Güter möglichst lange auf einer gleichbleibenden Ebene transportiert und getrocknet werden.

## Wichtige Kennzahlen zur Auslegung des Trockners

- Die thermische Leistung der Biogasanlage und thermische Leistung, die im Jahresverlauf nach Abzug der sonstigen Wärmeverbraucher zur Verfügung steht, sind die wichtigsten Werte für die Auslegung des Trockners.
- Die Feuchte des Produktes vor der Trocknung und nach der Trocknung sollte bekannt sein; daraus kann die zu verdunstende Wassermenge/h mit Wirkungsgrad des Trockners bzw. Durchsatz mit Energiebedarf ermittelt werden.
- Die Masse der anfallenden Trockenware und die Zeitspanne, in der zu trocknende Ware anfällt und verarbeitet werden muss, ist eine weitere wichtige Kennzahl (max. Lagerdauer nach Ernte bis zur Trocknung beachten!).

## Der Trocknungsprozess

- Durch eine Trocknungstemperatur von unter 100°C wird der Ware durch Verdunsten Wasser entzogen.
- Je wärmer, trockener und schneller die Trocknungsluft ist, desto mehr Wasser kann entzogen werden → die Trocknungsluft wird durch Abwärme auf die Temperatur erwärmt, welche noch nicht zu Schaden am Produkt führt bzw. wird mit entsprechender Luftbewegung am Produkt vorbeigeführt.
- Dabei gilt: je größer das Verhältnis Oberfläche zu Volumen, desto schneller kann Wasser entzogen werden.
- Wichtige Kennzahlen sind die maximale Kornkerntemperatur von Getreide 42°C aufgrund von Eiweißdenaturierung und die maximale Kerntemperatur von Heil- und Gewürzpflanzen mit ätherischen Ölen 42°C.
- Funktionsweise der Trocknung:
  - Die erwärmte Luft durchströmt das Produkt stationär oder im Gegenstrom zum Trockenzustand.
  - Das Wasser wird als erstes der Oberfläche entzogen, wobei sich durch große Kapillaren das Wasser im Produkt wieder an die Oberfläche verlagert.
  - Sobald kein Wasser mehr an die Oberfläche transportiert wird, verlagert sich der Trocknungsprozess in das Produkt. Die Trocknungsgeschwindigkeit verlangsamt sich dabei deutlich.

## Beispielrechnung Getreidetrocknung Bandtrockner

Ausgangsdaten	
Thermische Leistung [kW]	700
Wärmebedarf für Getreidetrocknung (Anfangsfeuchte 20%; Endfeuchte 14%)	45.000 kJ (125 kWh <sub>th</sub> )/t Getreide (Entzug von 75kg Wasser je Tonne Getreide)
Wärmeausnutzung Trockner [%]	70% (max. 4 t/h Getreide trockenbar)
Trockenperiode [Monate/a]	2,5 (1800 h/a → 7.300 t/a Getreide trockenbar)
Investitionsbedarf Bandtrockner mit zu- und abführender Mechanik [€]	300.000
Abschreibungsdauer [a]	10
Wartungskosten Bandtrockner [% von Investition jährlich]	3
Leistungsaufnahme Trockner [kW <sub>el</sub> /t Wasser]	50
Stromkosten [€/kW <sub>el</sub> ]	0,2
Länge Nahwärmeleitung [m]	50
Kosten Wärmeleitung [€/m]	300
Arbeitszeitbedarf [h/a]	900 (50% der Trocknerlaufzeit)
Stundenlohn Brutto [€/h]	30
Planungs- und Entwicklungskosten pauschal [€]	20.000
Wertsteigerung Getreide [€/t Getreide]	12

Leistung Trockner: 
$$\frac{700 \text{ kW} * 70\%}{125 \frac{\text{kWh}}{\text{t Getreide}}} = 3,92 \frac{\text{t Getreide}}{\text{h}}$$

Abschreibungskosten Investition Bandtrockner: 
$$300.000 \text{ €} \div 10 \text{ a} = 30.000 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Wartungskosten: 
$$300.000 \text{ €} * 0,03 \frac{\%}{\text{a}} = 9.000 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Abschreibung Planungs- und Entwicklungskosten: 
$$\frac{20.000 \text{ €}}{10 \text{ a}} = 2.000 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Stromkosten Trockner: 
$$50 \frac{\text{kW}_{el}}{\text{t Wasser}} * \left( \frac{75 \frac{\text{kg Wasser}}{\text{t Getreide}} * 3,92 \frac{\text{t Getreide}}{\text{h}} * \frac{1800 \text{ h}}{\text{a}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{t}}} \right) = 26.460 \frac{\text{kW}_{el}}{\text{a}}$$
  

$$26.460 \frac{\text{kW}_{el}}{\text{a}} * 0,2 \frac{\text{€}}{\text{kW}_{el}} = 5.292 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Abschreibung Investitionskosten Nahwärmeleitung: 
$$50 \text{ m} * 300 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 15.000 \text{ €}$$
  

$$15.000 \text{ €} \div 10 \text{ a} = 1.500 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Personalkosten: 
$$900 \frac{\text{h}}{\text{a}} * 30 \frac{\text{€}}{\text{h}} = 27.000 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Gesamtkosten: 
$$30.000 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 9.000 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 2.000 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 5.292 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 1.500 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 27.000 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 74.792 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Gesamterlös: 
$$3,92 \frac{\text{t Getreide}}{\text{h}} * 1.800 \frac{\text{h}}{\text{a}} * 12 \frac{\text{€}}{\text{t Getreide}} = 84.672 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

### Bispielrechnung Getreidetrocknung Belüftungsboden

Ausgangsdaten	
Thermische Leistung [kW]	300
Wärmebedarf für Getreidetrocknung (Anfangsfeuchte 20%; Endfeuchte 14%)	45.000 kJ (125 kWh <sub>th</sub> )/t Getreide (Entzug von 75kg Wasser je Tonne Getreide)
Wärmeausnutzung Trockner [%]	50% (max. 1,2 t/h Getreide trockenbar)
Trockenperiode [Monate/a]	2,5 (1800 h/a → 2.160 t/a Getreide trockenbar)
Investitionsbedarf Belüftungsboden [€]	50.000
Abschreibungsdauer [a]	10
Wartungskosten Belüftungsboden [% von Investition jährlich]	2
Leistungsaufnahme Gebläse [kW <sub>el</sub> /t Wasser]	15
Stromkosten [€/kW <sub>el</sub> ]	0,2
Länge Nahwärmeleitung [m]	50
Kosten Wärmeleitung [€/m]	300
Arbeitszeitbedarf [h/a]	300
Stundenlohn Brutto [€/h]	30
Planungs- und Entwicklungskosten pauschal [€]	10.000
Wertsteigerung Getreide [€/t Getreide]	12

Leistung Trockner: 
$$\frac{300kW \cdot 50\%}{125 \frac{kWh}{t \text{ Getreide}}} = 1,2 \frac{t \text{ Getreide}}{h}$$

Abschreibungskosten Investition Belüftungsboden: 
$$50.000€ \div 10a = 5.000 \frac{€}{a}$$

Wartungskosten: 
$$50.000€ \cdot 0,02 \frac{\%}{a} = 1.000 \frac{€}{a}$$

Abschreibung Planungs- und Entwicklungskosten: 
$$\frac{10.000€}{10a} = 1.000 \frac{€}{a}$$

Stromkosten Trockner: 
$$50 \frac{kW_{el}}{t \text{ Wasser}} \cdot \left( \frac{75 \frac{kg \text{ Wasser}}{t \text{ Getreide}} \cdot 1,2 \frac{t \text{ Getreide}}{h} \cdot \frac{1800h}{a}}{1000 \frac{kg}{t}} \right) = 8.100 \frac{kW_{el}}{a}$$
  

$$8.100 \frac{kW_{el}}{a} \cdot 0,2 \frac{€}{kW_{el}} = 1.620 \frac{€}{a}$$

Abschreibung Investitionskosten Nahwärmeleitung: 
$$50m \cdot 300 \frac{€}{m} = 15.000€$$
  

$$15.000€ \div 10a = 1.500 \frac{€}{a}$$

Personalkosten: 
$$300 \frac{h}{a} \cdot 30 \frac{€}{h} = 9.000 \frac{€}{a}$$

**Gesamtkosten:** 
$$5.000 \frac{€}{a} + 1.000 \frac{€}{a} + 1.000 \frac{€}{a} + 1.620 \frac{€}{a} + 1.500 \frac{€}{a} + 9.000 \frac{€}{a} = 19.120 \frac{€}{a}$$

**Gesamterlös:** 
$$1,2 \frac{t \text{ Getreide}}{h} \cdot 1.800 \frac{h}{a} \cdot 12 \frac{€}{t \text{ Getreide}} = 25.920 \frac{€}{a}$$

---

Quellen:

- 1 Gaderer, M., Lautenbach, M., Fischer, T., Ebertsch G. Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). 11/2007
- 2 Jehle, S. Trocknung von Getreide einschließlich Mais mit Biogaswärme. In: Biogas Forum Bayern Nr. V – 25/2016. Hrsg. ALB Bayern e.V. 2016
- 3 Schulz, W., Heitmann, S., Hartmann, D., Manske, S., Erjawetz, P., Risse, S., Rübiger, N., Schlüter, M., Jahn, K., Ehlers, B., Havran, T. Schnober, M. Leitfaden Verwertung von Wärmeüberschüssen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Bremer Energie Institut. 02/2007
- 4 Arndt, Kilburg, U., Maierhofer, Schulte, Wagner. Trocknung von Energieholz und Getreide mit Biogasabwärme. Hrsg. C.A.R.M.E.N. e.V. 06/2015
- 5 Kath, F.A. Technische und betriebswirtschaftliche Analyse von Konzepten zur ganzjährigen Nutzung der Abwärme einer Biogasanlage im dezentralen ländlichen Raum. Justus-Liebig-Universität Giessen. Dissertation. 08/2012
- 6 Ferch, A. & Brockhausen, K. Gärresttrocknung mit dem Dorset Bandtrockner und nachgeschalteter Abluftreinigung. Beispiel aus der Praxis: BGA Schulze-Brockhausen, Ahlen/Westfalen. Präsentation. 2017
- 7 Hinrich, N. Mehr als heiße Luft. In: top agrar. 2015