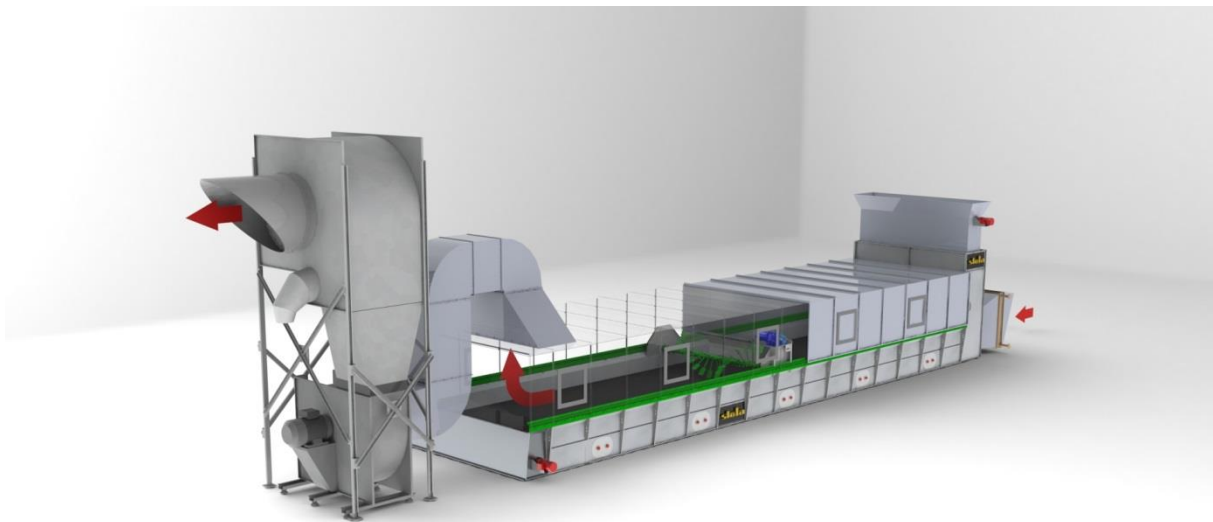


## **Trocknung von Getreide einschließlich Mais mit Biogaswärme**



**Nr. V - 25/2016**

---

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



**Stefan Jehle**

Landmaschinenschule Landshut-Schönbrunn

**Bei der Trocknung von Getreide ist unbedingt zu beachten:**

**Um eine schonende, sowie effektive Trocknung von Körnerfrüchten zu gewährleisten, ist darauf zu achten, dass:**

- Die Trockenschichtdicke von max. 1 m bei Ruheschichttrocknern nicht überschritten wird.
- Die Kornkerntemperatur nicht über 42 °C liegt.
- Die Trockenlufttemperatur nicht über 75 °C liegt.
- Eine Temperaturregelung vorgesehen ist.
- Die Luftverteilung so ausgelegt wird, dass die maximale Belastung der Motoren unterschritten werden kann.
- Keine Schadgase in den Trockenluftstrom eintragen werden.
- Ein passendes Trocknungssystem verwendet wird.
- Lange Betriebszeiten des Trockners möglich sind.
- Alternative Trockenprodukte, passend zum „Lebensmittel Getreide“ verfügbar sind.

Für die Trocknung von Lebensmitteln stellt die Verwertung der Biogasabwärme eine günstige und umweltverträgliche Möglichkeit der Konservierung von Körnerfrüchten dar.

Im Gegensatz zur Trocknung von Stückgut ist jedoch bei der Behandlung von Getreide eine genauere Betrachtung des Trockenprodukts nötig. Je nach späterem Verwendungszweck ist auf die spezifischen Eigenheiten des Trockengutes entsprechend Rücksicht zu nehmen.

Für Getreide gelten Regeln bezüglich der maximalen Trocknungstemperatur, der max. Guttemperatur und der Verweildauer im Warmluftbereich.

Zur Orientierung dient die nachfolgende Tabelle und Grafik:

Tabelle 1: Maximale Guttemperaturen in Abhängigkeit zur Gutfeuchte

Zulässige Getreidetemperatur in Abhängigkeit der Eingangsfeuchte				
Kornfeuchte %	Weizen ° C	Roggen Hafer Gerste Konsumware ° C	Mais ° C	Saatgut Braugerste ° C
16	55	65	75	49
18	49	59	65	43
20	43	53	58	38
22	37	47	52	34
24	35	40	44	30

In diesen Tabellenwerten ist bei höheren Feuchten auch bereits der Zeitfaktor für die längere Verweildauer berücksichtigt.

Die folgende Grafik verdeutlicht diesen Zusammenhang nochmals, weil hier auch der Zeitfaktor dargestellt wird

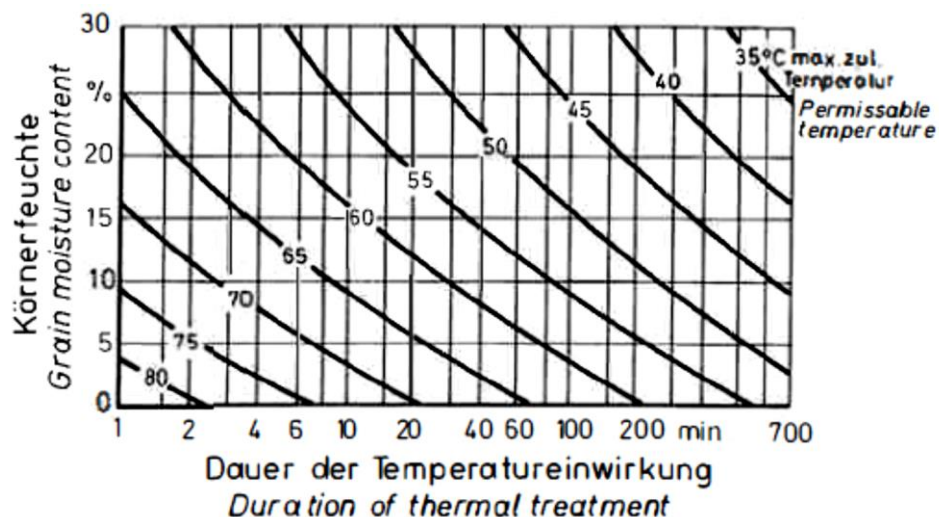


Abb.1: Temperatureinwirkung Getreide (Quelle: Dr. sc. agrar Hans Peter Grothaus Institut für Agrartechnik Göttingen)

Vereinfacht ist zu sagen, dass die Kerntemperatur des Getreides für eine sichere, schadfreie Trocknung 42 °C nicht überschreiten sollte.

**Korntemperatur von 42 °C nicht überschreiten**

**Wie sieht es nun mit der Trockenlufttemperatur aus?**

Für die Trockenlufttemperatur bedeutet dies, dass hier die Faktoren Außenlufttemperatur und Getreidetemperatur berücksichtigt werden müssen. Folgender Zusammenhang ist zwischen Trockenluftwärmung und max. Getreidetemperatur nach der folgenden Formel herzuleiten:

$$\Delta t = (2 \times t_{Gmax.}) - t_A$$

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
$\Delta t$	Maximale Trockenluftwärmung (Anheiztemperatur)	°C
$t_{Gmax.}$	maximale Getreidetemperatur	°C
$t_A$	vorherrschende Außentemperatur	°C

Daraus ergeben sich für verschiedene Trocknerbauarten auch unterschiedlichen max. Trockenlufttemperaturen:

Tabelle 2: Trockenlufttemperaturerhöhung in Abhängigkeit der Trocknerbauart

Zulässige max. Trockenlufttemperaturerhöhung in Abhängigkeit der Trocknerbauart ( Ausgangstemperatur: 20 °C)				
Trocknerart	Weizen °C	Roggen Hafer Gerste Konsumware °C	Mais °C	Saatgut Braugerste °C
Satztrockner	56	67	75	50
Umlufttrockner	62	72	90	52
Durchlufttrockner	≤ 66	76	130	53

Bei der Abwärmenutzung in Biogasanlagen ist eine Trocknungstemperatur von 75°C also eine Luftanwärmung von 55 °C durchführbar. Die Zusammenhänge kann man folgendermaßen in einer Grafik zusammenfassen.

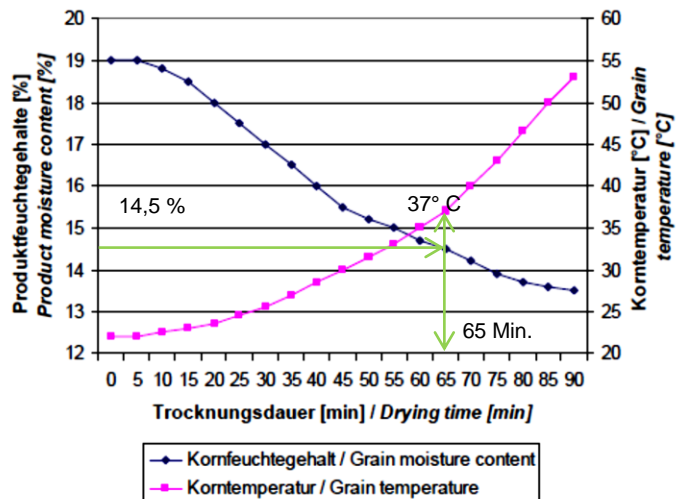


Abb. 2: Korntemperatur in Abh. v. Feuchte u. Trockendauer (Quelle: Jens Grube/Markus Böckelmann)

Aus dieser Grafik ist zu ersehen, dass bei Getreide mit einem Feuchtegehalt von 19 %, das auf 14,5 % mit einer Trockenlufttemperatur von 75 °C getrocknet wird, beim Erreichen der Endfeuchte nach einer Trocknungszeit von 65 Minuten eine Kornkerntemperatur unter 40 °C erreicht wird. Hier wird dann bereits die Kühlung einsetzen und die Kornkerntemperatur wird wieder sinken. Eine Schädigung des Trockenguts ist hier nicht zu erwarten.

**Trockenlufttemperatur max. 75 °C**

Für diesen sogenannten Niedertemperaturbereich bieten sich Ruheschichttrocknungen (Satztrockner / Wagentrockner / Darren / bedingt Trockencontainer) oder kontinuierliche Trockner (Schubwendetrockner / Bandtrockner) an. Aus Kostengründen wird üblicherweise in die Ruheschichttrocknungen investiert.

Besonders bei der Getreidetrocknung ist bei Ruheschichttrocknern auf die Schütthöhe und den nötigen bzw. maximalen Luftdurchsatz zu achten. Durchschnittlich benötigt man für die Trocknung einen Luftdurchsatz von ca. 800 – 1200 m<sup>3</sup>/h und m<sup>3</sup> Trocknungsraum. Jedoch muss auch bedacht werden, dass die Abwärmenutzung mit dem benötigten Luftvolumen der zu verwertenden Wärmemenge übereinstimmt.

Auch bei der Nutzung von regenerativer Energie ist der Grundsatz „Produktschonung vor Leistung“ anzuwenden. Produktschäden treten besonders bei der Getreidetrocknung durch erhöhte thermische Belastung und der damit verbunden Folgen für die Eiweiß- und Stärkestrukturen auf. Die Gefahr einer starken Untertrocknung, sowie einer damit verbundenen Überhitzung des Trockengutes ist besonders bei Ruheschichttrocknern erheblich.

Für den Betrieb von Ruheschichttrocknern gilt besonders für Wagen- und Containertrockner, dass Schütthöhen von 1 m in keinem Fall überschritten werden dürfen. Bei empfindlichen Getreideprodukten, z.B. Saatgut und höheren Feuchten müssen diese erheblich unterschritten werden.

Der Grund dafür ist, dass die Trockenluft permanent beim Durchströmen im Gut gekühlt wird und die Luft sich sättigt. Bei einer Sättigung von 100 % kann die Luft das Wasser nicht mehr halten und wird dieses wieder an das Getreide abgeben.

Tabelle 3: Energiebedarf je kg Wasser in Abhängigkeit von der Trockenlufttemperatur

Folgendes Beispiel mag dies verdeutlichen:

Trockenprodukt	Weizen – Konsumware
Eingangsfeuchte	18 %
Gewünschte Ausgangsfeuchte	14 %
Max.Trocknungstemperatur	75 °C
Energieaufwand für 1 kg H <sub>2</sub> O	1,8 kWh
Zur Verfügung stehende Abwärme aus einer Kraft-Wärme-Kopplung	300 kWh
Max. Wasserverdunstungsleistung	ca. 167 kg /h
Max. erreichbare Temperaturdifferenz	55 °C
Außentemperatur	20 °C

Temperatur Trocknungsluft (°C)	Energiebedarf für 1 kg H <sub>2</sub> O kWh
30	2,0
60	1,8
80	1,4
100	1,2
150	1,0

Um die Wärmeabfuhr der KWK zur gewährleisten werden  $15.130 \text{ m}^3 \text{ Luft/h}$  ( $19.518 \text{ kg/h}$ ) benötigt. Mit dieser Luftmenge kann jedoch auch je  $\text{kg}$  Luft ca.  $18 \text{ g H}_2\text{O}$ , also ca.  $351 \text{ kg}$  Wasser transportiert werden. Die Werte können dem nachstehenden Diagramm entnommen werden.

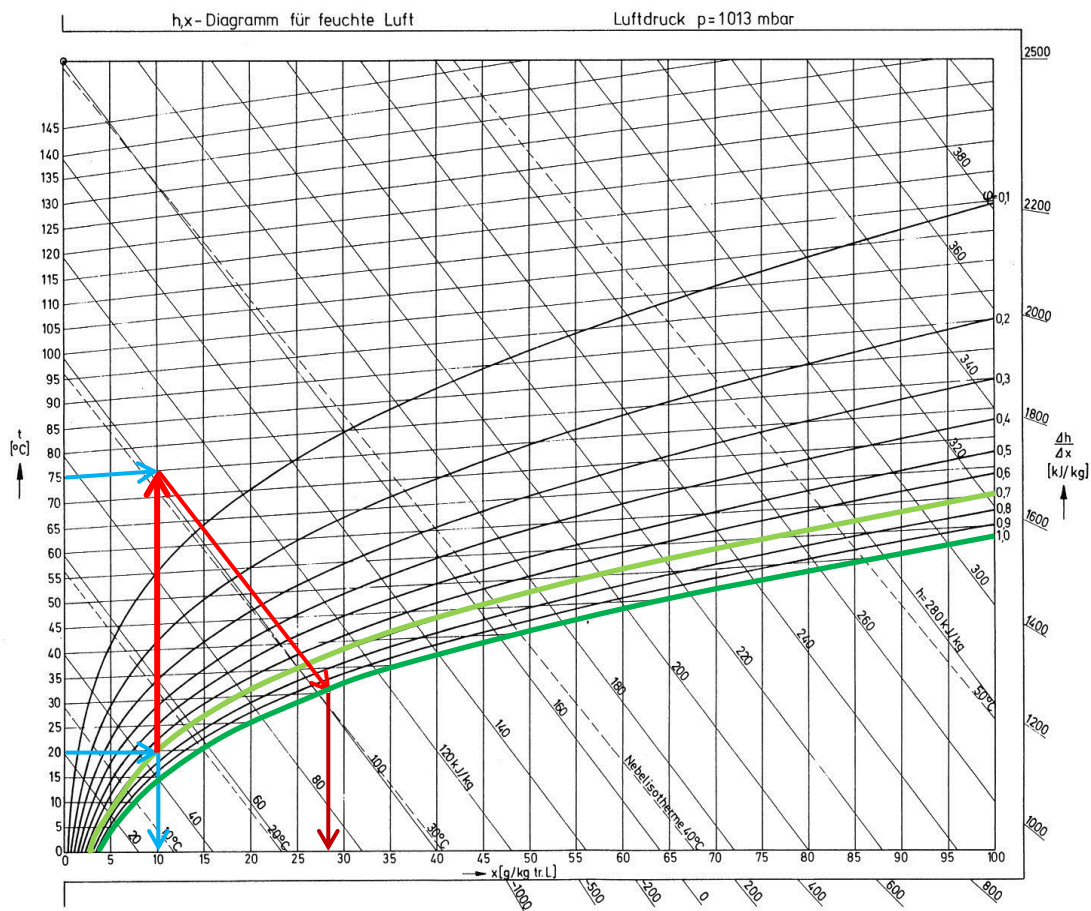


Abb. 3: HX Diagramm (Quelle: [www.beuth-hochschule.de](http://www.beuth-hochschule.de))

Hier sieht man, dass die Eingangsluft mit  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  bei  $70 \%$  rel. Luftfeuchte mit  $10 \text{ g}$  Wasser beladen ist. Nach der Anwärmung auf  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  ist die Wasserbeladung jedoch immer noch gleich. Beim Durchströmen der Luft durch das Getreide steigt jedoch die Wasserbeladung aufgrund der Gleichgewichtsverhältnisse an. Dabei kühlt (Verdunstungskälte) die Luft ab und wird bei einer Temperatur von  $30 \text{ }^\circ\text{C}$   $100 \%$  rel. Luftfeuchte erreichen. Eine höhere Sättigung kann nicht erreicht werden. Ab diesem Punkt wird das Wasser wieder kondensieren. Es stellen sich dabei die Fragen wie hoch darf die Schicht sein, damit das Wasser erst außerhalb des Getreidestapels kondensiert und wie stellt sich der Temperaturverlauf dar.

Die Heizleistung reicht für  $167 \text{ kg H}_2\text{O}$  pro h bei einer Feuchtgehaltendifferenz von  $4 \%$  im Getreide.

In der  $\text{dt}$  Getreide sind somit  $4,65 \text{ kg}$  Wasser enthalten, dies bedeutet dann, dass hier ca.  $3600 \text{ kg}$  Getreide getrocknet werden müssen. Die Luft ist hier jedoch nicht gesättigt, es kann damit ca. die doppelte Wassermenge entzogen werden, dies bedeutet dass auch die doppelte Menge getrocknet werden kann, also  $7200 \text{ kg}$  ( $9,6 \text{ m}^3$ ) jedoch in  $2 \text{ h}$ . Für die Beladung eines Fahrzeugs bedeutet dies bei einer lichten Länge von  $7 \text{ m}$  und einer lichten Breite von  $2,3 \text{ m}$ , also  $16,1 \text{ m}^2$  eine Schütthöhe von ca.  $0,6 \text{ m}$ . Darüber hinaus wird das Wasser wieder im Getreide kondensieren und muss erneut verdampft werden. Da aber die Körner im Bereich unter der Kondensatzone bereits trocken sind,

werden diese die Trockenlufttemperatur annehmen und über die mögliche Verweildauer belastet. Weiter wird es zu Schmachtkörnern kommen, die den erforderlichen Qualitätsansprüchen nicht mehr genügen werden.



Abb. 4: Containertrocknung (Foto: MaWiSchütz.de)



Abb. 5: Wagentrocknungsanlage  
(Quelle: Frithjof Wünsche, Teutschental)

Typisch für Ruheschichttrockner sind Containertrocknungen oder Wagentrocknungsanlagen. Containertrocknungen sind vorwiegend für die Trocknung von Hackschnitzeln konzipiert, bei Beachtung der Schütthöhen und der Luftdurchsätze sind diese auch für Getreide geeignet. Um bei diesen Trockencontainern die volle Ladehöhe nutzen zu können werden von Herstellern sogenannte Mischschneckensysteme angeboten. Zu beachten ist hier jedoch, dass mit diesen mechanischen Rührwerken auch eine erhöhte mechanische Belastung des Trockengutes einhergeht.



Abb. 6: Schneckenrührwerk  
(Foto: Martin Energietechnik)

Wagentrocknungsanlagen eignen sich seit jeher gut für die Trocknung von Getreide, da die Schütthöhen im Allgemeinen bereits durch die vorhandenen Bordwände in einer akzeptablen Höhe begrenzt werden.

Im Gegensatz zu den Ruheschichttrocknern stehen in diesem Temperaturbereich noch Trockner als Umlufttrockner, Schubwendetrockner und Bandtrockner zur Verfügung. Der Investitionsbedarf für diese Trocknerausführungen ist jedoch erheblich höher. Bedeutend ist jedoch die Produktschonung und die produzierte Produktqualität. Umlufttrockner sind nur im Bereich von rieselfähigen Produkten (im allgemeinen Getreide) möglich, und haben daher nur einen sehr kurzen Einsatzzeitraum. Besser zu beurteilen ist hier das Schubwendeverfahren, bei dem mit einem Wendeaagregat das Trockenprodukt periodisch gewendet und transportiert wird. Beim Bandtrockner wird das zu trocken-

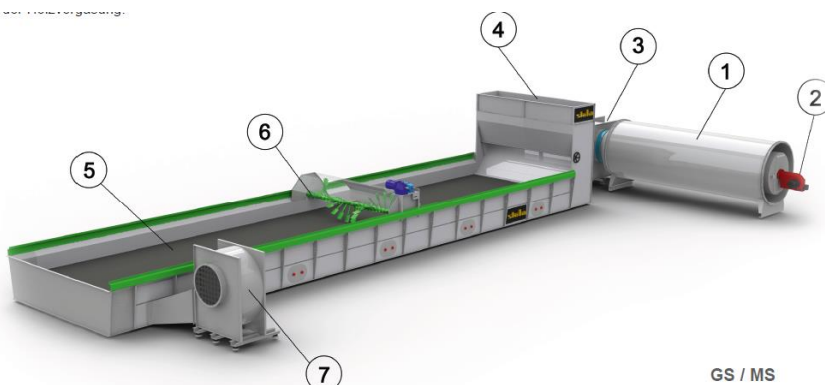


Abb. 7: Schubwendetrockner (Foto: Stela)

werden diese die Trockenlufttemperatur annehmen und über die mögliche Verweildauer belastet. Weiter wird es zu Schmachtkörnern kommen, die den erforderlichen Qualitätsansprüchen nicht mehr genügen werden.

de Material durch den Warmluftstrom auf einem Band transportiert. Diese beiden Verfahren eignen sich auch für Trockengüter mit unspezifischen Eigenschaften und Konsistenzen und können daher über einen längeren Zeitraum als die Erntezeit genutzt werden.

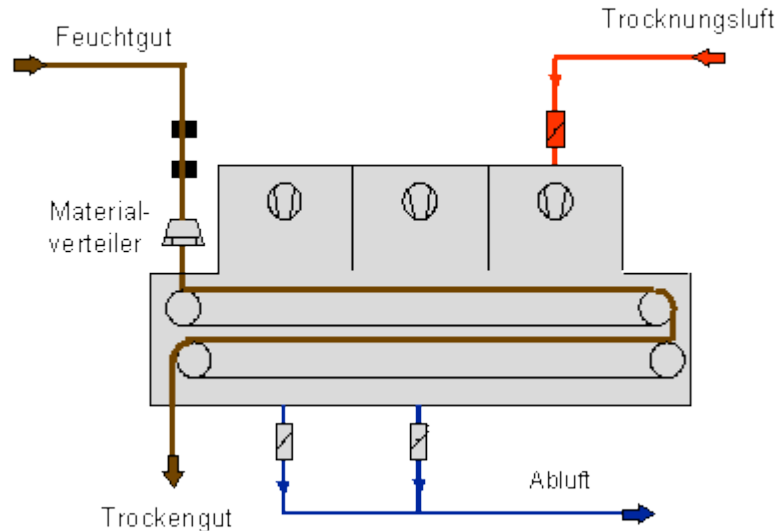


Abb. 8: Funktionsprinzip Bandtrockner (Quelle: Sevar)

Als Wärmequellen dienen im Rahmen der Abwärmenutzung meist Wasser – Luft – Wärmetauscher. Zusätzlich können hier auch Abgaswärmetauscher eingesetzt werden. Jedoch ist zu beachten, dass hier keine Schadgase dem Warmluftstrom zugeführt werden.



Abb. 9: Wasser-Luft-Wärmetauscher  
(Foto: S&U Maschinenbau)



Abb. 10: Abgaswärmetauscher (Foto: Sopra.de)



Der Einsatz von Wärmetauschern, insbesondere die mögliche Temperaturspreizung zwischen Vorlauf und Rücklauf ist unbedingt mit den Herstellern der BHW-Motoren zu klären. Weiterhin ist zu beachten, dass beim Einsatz von Abgaswärmetauschern ein zu hoher Gegendruck vermieden wird. Anlagen, bei denen die Abgase mit in den Warmluftstrom gesaugt werden, sind für die Trocknung aus hygienischer Sicht absolut ungeeignet. Außerdem besteht die Gefahr, dass am Motor ein ungewünschter Unterdruck entsteht.

Um Schäden an den Motoren des Blockheizkraftwerkes zu vermeiden und die Trocknungsanlage unabhängig vom jeweiligen Wärmeanfall betreiben zu können bzw. einen Ausfall der Trocknung zu kompensieren, ist es unbedingt notwendig, für die Gesamtanlage eine unabhängige und ausreichend konzipierte Notkühlanlage vorzusehen.

**Durch die niedrigen Trocknungstemperaturen werden geringere Durchsatzleistungen erreicht, die nicht durch größere Füllmengen kompensiert werden können.**

**WICHTIG:**

**Produktschonung geht vor Durchsatzleistung**

## 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
- Biogasanlagenbetreiber
- 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
- Landmaschinenschule Landshut-Schönbrunn
- OmniCert GmbH
- Technische Universität München

### Zitiervorlage

Jehle, S. (2016): Trocknung von Getreide einschließlich Mais mit Biogaswärme. In: Biogas Forum Bayern Nr. V – 25/2016, Hrsg. ALB Bayern e.V.,  
[http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Trocknung\\_von\\_Getreide.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Trocknung_von_Getreide.pdf), Stand [Abrufdatum].



#### 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)