

Markus Böckelmann und Wolfgang Lücke, Göttingen, sowie Reinald-Jörg Weimar, Soest

# Mikrowellen zur Maistrocknung

## Trocknung von Körnermais durch eine Verfahrenskombination mit Warmluft und Mikrowellenapplikation

*Die Trocknung von Körnermais dient der Bewahrung der Kornqualität und Schaffung von Lagerstabilität. Aktuelle Ziele der Praxis sind hohe Trocknungsleistungen bei geringen spezifischen Trocknungskosten, wobei die Qualitätserhaltung immer wichtiger wird.*

*Konventionelle Warmlufttrocknungssysteme für die Körnermaistrocknung sind technisch weitgehend ausgereift. Im Hinblick darauf wurde untersucht, wie sich durch eine Verfahrenskombination aus Warmlufttrocknung und Mikrowellenapplikation Prozesse der Körnermaistrocknung optimieren lassen und unter welchen Bedingungen eine Kombinationstrocknung verfahrenstechnisch sinnvoll ist.*

Dipl.-Ing. Markus Böckelmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik (Leitung: Prof. Dr. sc. agr. Wolfgang Lücke) der Georg-August Universität Göttingen, Gutenbergstraße 33, 37075 Göttingen; e-mail: [M.Boeckelmann@t-online.de](mailto:M.Boeckelmann@t-online.de)

Prof. Dr.-Ing. Reinald-Jörg Weimar, Institut für Technologie- und Wissenstransfer, TWS, im Kreis Soest e.V. - Institut der Hochschulabteilung Soest, Lübecker Ring 2, 59494 Soest.

### Schlüsselwörter

Warmlufttrockner, Körnermais, Mikrowelle

### Keywords

Thermal dryer, grain maize, microwave

### Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05507 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die rechtzeitige und schonende Konservierung von Körnermais und anderen landwirtschaftlichen Körnerfrüchten stellt angesichts weltweit hoher Verluste an Nahrungsmitteln im Nacherntebereich eine bedeutende Aufgabe für die agrartechnische Praxis dar. Vor dem Hintergrund, dass landwirtschaftlich erzeugte Rohstoffe zunehmend auch als Basis verwertbarer Grundwerkstoffe in der Industrie, Energie- oder Medizintechnik eingesetzt werden, gewinnt die Anwendung angepasster Trocknungsverfahren an Bedeutung.

Im Ergebnis kann die Warmlufttrocknung aufgrund der über den Trocknungsverlauf unveränderlichen Trocknungskonditionen nicht die systematischen Vorteile einer auf die individuellen Trocknungseigenschaften abgestimmten Trocknung erfüllen.

Eine grundsätzlich andere Möglichkeit, den Energieeintrag in das Trocknungsgut zu verbessern und damit den Entfeuchtungsvorgang zu beschleunigen, stellt die Applikation von Mikrowellen dar. Hierbei wird die physikalische Eigenschaft genutzt, dass die Energie direkt in den Wassermolekülen in Wärme umgesetzt wird.

Sowohl aus den theoretischen Betrachtungen als auch an Trocknungsversuchen mit Kartoffelscheiben hat Lücke [3] festgestellt, dass ergänzend zur Warmlufttrocknung eine Mikrowellenapplikation dann vorteilhaft wirksam wird, wenn die Einkopplung der Mikrowellenenergie sowohl konstruktiv technisch als auch im Sinne des Trocknungsprofils aufeinander abgestimmt ist.

### Verfahrenskombination der Warmluft-Mikrowellentrocknung

Vordergründig verträgt feuchte Ware und hier speziell Körnermais während des ersten Trocknungsabschnittes hohe Warmlufttemperaturen. Dieses jedoch nur solange, wie die Kühlgrenztemperatur eingestellt ist. Sobald der Wärmeeintrag und der daraus folgende Feuchtigkeitsaustrag aus dem Korn nicht mehr gleichgewichtig erfolgen, können Kornschäden und Überhitzung auftreten. Bei der Mikrowellentrocknung wird im Gegensatz beziehungsweise ergänzend zur

Warmlufttrocknung dort eine Verdampfung angeregt, wo sich Feuchtigkeit im Korn befindet, also auch direkt im Korninnern. Die wasserdurchlässigen äußeren Kornschichten (Schalen) bleiben bei einer Verfahrenskombination bis zum Ende des Trocknungsprozesses diffusionsfähiger.

### Aufbau der Versuchstrocknungsanlage

Für die Versuchsdurchführungen ist ein absätzig arbeitender Trockner konzipiert worden und kein Durchlauf-trocknungssystem. Auf diese Weise ist es möglich, alle während der Trocknung relevanten Prozesszustände des Chargenmischer-trockners separat einzustellen und zu bilanzieren.

Der metallische Trockner besteht aus einem stehenden zylindrischen Mischer mit einem ebenen Lochboden, worunter sich der Abluftraum befindet.

In die Behälterwandung ist im Bereich des Zuluftanschlusses ein Edelstahlgitter eingearbeitet, so dass die Warmluft nahezu gleichmäßig in den Trocknungsraum einströmt. Gleichzeitig hat das Edelstahlgitter die Aufgabe, den Austritt von Mikrowellen zu verhindern. Die Trocknungsluft wird über zwei in Reihe angeordnete elektrisch betriebene Widerstandsheizregister mit je 1700 W Heizleistung stufenlos erwärmt.

Die Abdeckung besteht aus einem Metallkranz, auf dem exzentrisch der Hohlleiter mit einem aufgesetzten Industriemagnetron mit 1200 Watt Sendeleistung bei einer Frequenz von 2,45 GHz positioniert ist. Die Sendeleistung ist stufenlos regelbar. Das verwendete Magnetron hat einen Wirkungsgrad von etwa 70 %, die elektrische Aufnahmeleistung beträgt 1800 Watt.

Für die Energiebilanzierung der Trocknungsverläufe sind die elektrische Energieaufnahme der Warmluftherzeugung und der dielektrischen Erwärmung durch getrennte Kilowattstundenzähler erfasst worden.

Der zunächst tatsächliche Leistungsbedarf zur Erzeugung der Sendeleistung der Mikrowellen entspricht auch der tatsächlich zu entgeltenden Leistungsaufnahme aus dem elektrischen Versorgungsnetz. Demgegenüber ist zu sehen, dass die effektive Energieumset-



Bild 1: Chargenmischertrockner

Fig. 1: Batch mixing drier

zung der Mikrowellen im Korn tatsächlich nur bis zu dem Niveau des Magnetronwirkungsgrades möglich ist. Während der Trocknung wird das Gut von zwei Rührarmen dreidimensional durchmischt.

Im Betriebszustand ist die gesamte Trocknereinheit auf einer digitalen Waage positioniert, so dass sowohl die Masse des feuchten Trockengutes als auch die Entfeuchtung während des Trocknungsprozesses kontinuierlich aufgezeichnet werden kann.

### Versuchsverfahren und Methoden

Das aktiv nutzbare Trockervolumen beträgt 0,08 m<sup>3</sup>. Bei den Vorversuchen zur Körnermaistrocknung hat sich bei dieser Anlage eine Chargengröße zwischen 10 und 30 kg bewährt. Durch eine in Abhängigkeit der Befüllung unterschiedlich wählbare Durchströmungsdicke der Schüttung lassen sich Trocknungsvorgänge von Ruheschichttrocknern, Bandtrocknern, Schubwendetrocknern oder Systeme von Dächerstachttrocknern einstellen und erfassen.

Zur Energie- und Leistungsbilanzierung werden während des Trocknerbetriebes folgende Messdaten erfasst:

- Probengewicht und Gewichtsänderung durch Trocknung
- Temperatur, Feuchtegehalt und Strömungsgeschwindigkeit der Zu- und Abluft
- Trocknungsguttemperatur,
- Druckdifferenz
- Warmluftenergie
- Mikrowellenenergie
- Leistungsbedarf zur Prozessluftförderung
- Einschaltdauer Rührwerk

### Ergebnisse und Diskussion

Die Trocknungsversuche mit der Versuchstrocknungsanlage sind mit erntefrischem Feuchtmais durchgeführt worden. In dieser Ausarbeitung werden zwei Versuche am Chargenmischertrockner vorgestellt:

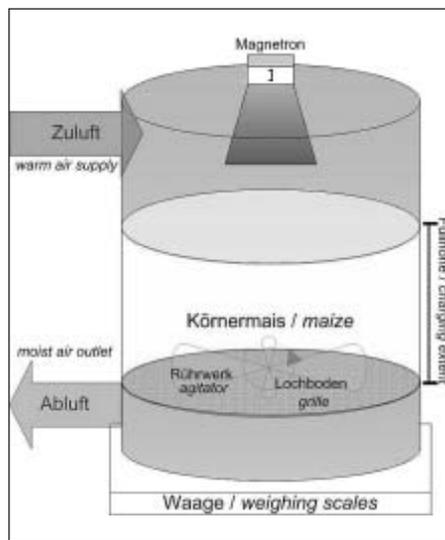


Bild 2: Funktion der Versuchsanlage

Fig. 2: Scheme of experimental drying plant

Versuch 1: Warmlufttrocknung

Versuch 2: Warmluft-Mikrowellentrocknung

Der Versuch Nr. 2 wurde zunächst mit den gleichen Trocknungsparametern durchgeführt wie der voran dargestellte reine Konvektionstrocknungsversuch. Im Unterschied zu Versuch Nr. 1 wurde aber die Warmlufttrocknung mit Mikrowellenapplikation unterstützt, welche nach 75 Minuten Trocknungsdauer zugeschaltet wurde.

Das Bild 3 zeigt den über die Trocknungszeit aufgetragenen Wasserentzug der beiden Versuche. Es wird deutlich, dass für den Versuch der reinen Warmlufttrocknung von 29% Anfangsfeuchtegehalt auf 14% Endfeuchtegehalt eine Trocknungsdauer von 210 Minuten erforderlich ist. Der thermische Energieeinsatz beträgt 1,98 kWh je kg entzogenen Wassers. Die Kurve bestätigt den aus der Praxis bekannten typischen Konvektionstrocknungsverlauf. Bedingt durch den vergleichsweise geringen Anfangsfeuchtegehalt von 29% ist der Wärmeeintrag durch

Konduktion in den Maiskörnern langsamer als bei einem Anfangsfeuchtegehalt von 35%. Dieser fehlende thermische Trocknungsvorlauf ist ein Grund für den hohen spezifischen Energiebedarf bei dieser Versuchsdurchführung.

Derselbe Feuchteentzug erfordert im mikrowellenunterstützten Versuch bei vergleichbaren Prozessluftbedingungen eine Trocknungsdauer von 135 Minuten, wobei auch der spezifische Energiebedarf auf 1,25 kWh pro kg Wasser deutlich abfällt. Die Mikrowellenapplikation zur unterstützenden Trocknung ist bei diesem Versuch nach 75 Minuten Trocknungsdauer aktiviert worden. Der Trocknungsvorgang zum Erreichen der Zielfeuchtigkeit wird deutlich früher abgeschlossen. Der Wasserentzug bleibt über die gesamte Trocknungsdauer nahezu konstant.

Der Vorteil einer kurzen Trocknungszeit, wobei durch die Mikrowellenapplikation nur soviel Wärmeenergie im Korninneren wirksam wird, wie für einen bestimmten Feuchteentzug erforderlich ist, stellt einen großen trocknungstechnischen Vorteil dar. Die Warmluftbereitstellung hinsichtlich Temperatur und Volumenstrom orientiert sich am tatsächlich erforderlichen Niveau für den Feuchtigkeitstransport aus den Randschichten des Kornes.

Im Sinne einer Verfahrenskombination ist die dielektrische Erwärmung bei diesem Versuch nach thermodynamischen Überlegungen zugeschaltet worden. Weitere Untersuchungen werden zeigen, inwieweit sich nach trocknungstechnischen Erwägungen etwa im Hinblick auf die Bindungsenthalpie ausgelegte Verfahrenskombinationen beschleunigend auf einen qualitativ hochwertigen Trocknungsprozess auswirken.

Bild 3: Warmlufttrocknung und Kombinationstrocknung von Maiskörnern im Vergleich, Anfangsfeuchtegehalt 29%, Endfeuchtegehalt 14%, Zulufttemperatur 125 °C, Belüftungsgeschwindigkeit 0,40 m/s, Mikrowellenleistung 0,24 kW für die Dauer von 30 min.

Fig. 3: Convection drying and microwave-convection drying of grain-maize, initial moisture (w.b.) 29%, target moisture (w.b.) 14%, inlet air temperature 125 °C, air velocity 0.40 m/s, microwave power 0.24 kW for 30 min.

