

Martin Böhner, Isabel Barfuss, Albert Heindl und Joachim Müller

# Optimierung der Luftführung eines Bandrockners mittels Strömungssimulation

Bedingt durch eine unzulängliche Luft- und Temperaturverteilung tritt bei Bandrocknern häufig eine ungleichmäßige Trocknung auf. Dies führt zu einem höheren Energieverbrauch sowie verringertem Durchsatz. Zur Optimierung des Systems wurde eine durch Messungen unterstützte Strömungssimulation mittels Computational Fluid Dynamics (CFD) durchgeführt. Als Schwachstelle wurde das seitliche Einströmen der Trocknungsluft ermittelt. Der Einbau von Leitblechen und die optimierten Einstellungen der Zuluftklappen bieten einen effektiven Lösungsansatz.

## Schlüsselwörter

Trocknung, Bandrockner, Luftführung, Strömungssimulation, CFD

## Keywords

Drying, belt dryer, air duct, fluid flow simulation, CFD

## Abstract

Böhner, Martin; Barfuss, Isabel; Heindl, Albert and Müller, Joachim

Optimisation of the air supply of a multibelt conveyor dryer by fluid flow simulation

Landtechnik 64 (2009), no. 3, pp. 175 - 177, 3 figures, 5 references

Uneven drying often occurs in belt dryers which leads to an increase in energy consumption and a decreased throughput. To optimise the system a fluid flow simulation was performed aided by computational fluid dynamics (CFD), supported by actual measurements. The installation of guiding plates and the optimised adjustment of the flaps inside the air supply duct can provide an effective approach for a better air supply.

■ Angesichts der stark gestiegenen Energiekosten ist es ein wichtiges Anliegen, den Energieverbrauch in der Landwirtschaft und deren vor- und nachgelagerten Bereich durch effiziente Verfahrenstechnik zu senken. Die Nacherntetechnik verursacht im Produktionsprozess von Arznei- und Gewürzpflanzen etwa 30-50% der Produktionskosten, wobei besonders

die Warmlufterzeugung zur Trocknung mittels Öl oder Gas einen hohen Kostenanteil ausmacht [1].

Untersuchungen haben ergeben, dass in Bandrocknern keine gleichmäßige Trocknung über die Bandbreite hinweg erfolgt. Dies bedeutet für die Praxis, dass Feuchtenester, also Bereiche höherer Gutfeuchte, bereits auf dem ersten Band entstehen können [2].

In einem Bandrockner ist es sehr schwierig, diese Feuchtenester bis zum Ende der Trocknung durch angemessene Durchmischung des Trocknungsgutes zu beheben. Durch Fallstufen und Produktwender findet keine Quervermischung statt, die für eine gleichmäßige Trocknung über die Bandbreite notwendig wäre. Feuchte Stellen im Gut können zu mikrobiellem Verderb im Zwischen- oder Endprodukt führen. Um dem Verderb vorzubeugen, wird das Produkt oft übergetrocknet, damit selbst feuchte Stellen bis zum Ende der Trocknung den erwünschten Endfeuchtegehalt erreicht haben. Durch die Vermeidung einer Übergetrocknung können gleichzeitig höhere Durchsätze erzielt werden [3].

Ziel des Projektes ist es deshalb, durch eine gleichmäßigere Luftgeschwindigkeitsverteilung über die Bandbreite hinweg auch eine gleichmäßigere Trocknung des Gutes zu erreichen. Um den empirischen Aufwand zur Modifizierung der Luftführungsgeometrie zu begrenzen, sollten Strömungssimulationen auf der Grundlage von Computational Fluid Dynamics (CFD) durchgeführt werden, welche die Strömungen visualisieren und die Schwachpunkte in der Luftführung aufdecken. Gute Relationen zwischen Messungen und Berechnungen wurden bereits in vorherigen Arbeiten festgestellt [4].

## Material und Methoden

**Trocknungstechnik.** Die strömungstechnischen Untersuchungen wurden in einem 5-Bandrockner durchgeführt, welcher eine Bandlänge von 20 m und eine Trocknungsfläche von

300 m<sup>2</sup> aufweist. Der Trockner ist in drei Temperaturzonen unterteilt. Die Hochtemperaturzone umfasst bei 105 °C die ersten eineinhalb Bänder, die Mitteltemperaturzone bei 95 °C die anschließenden eineinhalb Bänder und die Niedertemperaturzone bei 80 °C die letzten beiden Bänder. Diese Temperaturabstufung gilt für die Trocknung von Petersilie. Das Trocknungsgut durchläuft den Trockner von oben nach unten und fällt an jedem Bandende auf das nächst tiefere Band. Auf dem ersten Band erfolgt bei halber Lauflänge eine Gutdurchmischung mit Hilfe einer Stachelwalze. Die Bänder werden über drei Zuluftkanäle, die entsprechend der Temperaturzonen in drei Druckkammern auf beiden Seiten des Trockners unterteilt sind, belüftet. **Abbildung 1** zeigt die Zuluftkanäle, die Einteilung der seitlichen Druckkammern sowie die Um- und Abluftführung des Trockners. Über die Trocknerlänge verteilt befinden sich unmittelbar unter jedem Band insgesamt 20 verstellbare Lufteinlassöffnungen, durch die das seitliche Einströmen der Luft reguliert werden kann. Jede zweite Lufteinlassöffnung des ersten Bandes ist mit einem ins Trocknerinnere ragenden Leitblech von 10 cm Länge versehen, welches die Luft weiter in die Bandmitte befördern soll. Sieben in der Mitte der Trocknerdecke positionierte Abluftventilatoren ziehen die feuchte Trocknungsabluft aus der Trocknungskammer. Die hinteren drei Ventilatoren arbeiten im Teilumlufbetriebs und führen Abluft zur Ansaugstelle der Warmlufterzeuger zurück.

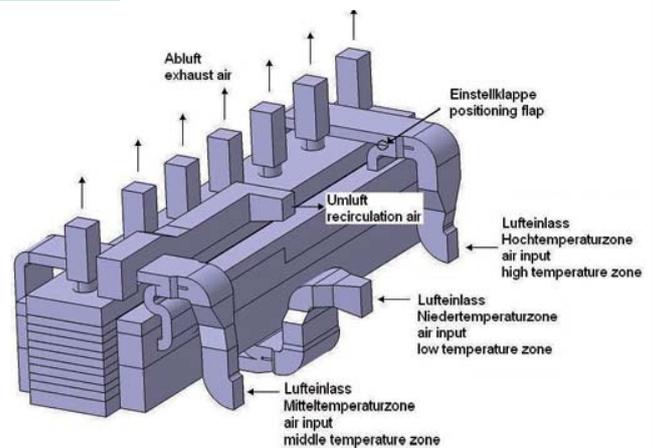
**Strömungssimulation.** Zur Strömungssimulation wurde die CFD-(Computational Fluid Dynamics)-Software FLUENT eingesetzt. Diese basiert auf der Finite-Elemente-Methode, die eine Unterteilung der Trocknergeometrie in eine begrenzte Anzahl von Zellen voraussetzt. In jeder dieser Zellen findet die Strömungsberechnung mit Hilfe der Navier-Stokes-Gleichungen und zusätzlichen, modellbestimmten Gleichungen statt. Die Berechnung erfolgt iterativ bis eine akzeptable Annäherung des Ergebnisses erreicht ist.

Zunächst wurde die Geometrie des Luftführungssystems mit der CAD-Software CATIA digitalisiert. Für die Generierung des Rechengitters zur weiteren Berechnung mit FLUENT wurde die Software Gambit eingesetzt. Als Gitter diente ein Hybridgitter aus Pyramiden und Prismen, erzeugt durch ein Vorvernetzen der Geometriekanten, mit einer Zellzahl von 860 000.

Die Randbedingungen für die Berechnung wurden durch Messungen am Trockner gewonnen. Als Eingangsluftgeschwindigkeit in den Zuluftkanal beispielsweise wurde, den Messwerten entsprechend, 13 m/s angesetzt. Die Hochtemperaturzone des Bandtrockners wurde mit dem realisierbaren k- $\epsilon$ -Modell simuliert. Dabei handelt es sich um eine verbesserte Form des häufig in der Industrie für Strömungs- und Wärmeübergangsberechnungen eingesetzten Standard k- $\epsilon$ -Modells. Dieses aus der Transportgleichung für turbulente kinetische Energie (k) und einer stark abgewandelten Gleichung ihrer Dissipationsrate ( $\epsilon$ ) bestehende Modell erhielt eine Verbesserung durch eine neue Methode zur Berechnung der turbulenten Viskosität und durch die genaue Gleichung der Dissipationsrate.

Der Vorteil des realisierbaren k- $\epsilon$ -Modells besteht in seiner gu-

Abb. 1



Luftführungssystem des untersuchten Fünfbandtrockners  
Fig. 1: Air duct system of the investigated five belt dryer

ten Anwendbarkeit für geteilte Strömungen und Sekundärströmungen, wie sie in der Simulation des Trockners vorkommen [5].

**Versuchsdurchführung.** Als Trocknungsgut diente Petersilie, die direkt nach der Ernte geschnitten (Schnittlänge etwa 3 – 5 cm) und windgesichtet in einer Schütthöhe von durchschnittlich 10 cm aufgebracht wurde. Um den Verlauf des Feuchtegehalts zu ermitteln, wurden Gutproben an der Aufgabe, in der Mitte des ersten Bandes und am Ende der fünf Bänder als Mischprobe über die Bandbreite gezogen und mit der Ofenmethode (103  $\pm$  2 °C, 24 h) analysiert. Messstellen unter dem ersten, dritten und vierten Band sowie in der Zuluft dienen zum Vergleich der Lufttemperatur und -geschwindigkeit mit den mittels FLUENT berechneten Werten. Dabei handelte es sich um Thermoanemometer (Ahlborn MT8635TH4) und NiCr-Ni-Thermoelemente (Ahlborn FT015L0500). Insgesamt fünf Sensoren wurden mit einem Stativ zwischen dem Ober- und Unterturm, im Abstand von 0,5 m über die Bandbreite verteilt, angebracht. Solche Messstative wurden in Längsrichtung des Trockners am Anfang, in der Mitte und am Ende des ersten Bandes angebracht. Darüber hinaus wurde jeder Abluftkamin mit einem Feuchte- und Temperaturfühler (Ahlborn FHA646-E1C) ausgerüstet.

## Ergebnisse

Räumliche Unterschiede des Gutfeuchtegehalts und der Lufttemperatur über der Bandbreite sind in **Abbildung 2** dargestellt. Die Messungen wurden auf halber Bandlänge des ersten Bandes durchgeführt. Sie zeigen einen Temperaturabfall von den Seiten zur Bandmitte von rund 30 °C. Der Gutfeuchtegehalt verhält sich entsprechend umgekehrt, die Schüttung trocknet an den Seiten schneller. Die Strahlweite ist nicht ausreichend, um die heiße Trocknungsluft bis in die Mitte des Bandes zu bringen. Ein weiterer Grund für die schnellere Trocknung am Rand liegt in der Wärmeabstrahlung der Druckkammerwandungen. Weiterhin ist die Schütthöhe am Rand, bedingt durch die ungleichmäßige Gutaufgabe, meist geringer als in

der Bandmitte, was die Trocknung an den Rändern zusätzlich beschleunigt.

Die Strömungssimulation unterstützt diesen Erklärungsansatz. Die visualisierte Temperaturverteilung in **Abbildung 3** zeigt höhere Temperaturen im Randbereich, während die Lufttemperatur in Richtung Bandmitte abnimmt.

Markant ist auch die ungleichmäßige Temperaturverteilung der rechten verglichen mit der linken Seite. Die Erklärung hierfür liegt im Zuluftkanal. Bei der Luftaufteilung in linke und rechte Druckkammer ist eine Klappe eingebaut. Diese Klappe ist in **Abbildung 1** markiert und regelt die Aufteilung des Volumenstromes. Die ursprüngliche, waagerechte Einstellung der Klappe führt dazu, dass mehr Trocknungsluft in der linken Druckkammer und damit in der linken Hälfte des Trockners ankommt.

Auffällig ist auch das wellenförmige Temperaturprofil an den Lufteinlassschlitzen mit Leitblechen. Dies weist auf einen Einfluss der Leitbleche auf die Luftverteilung hin. Zu erklären ist dieses Phänomen mit der Luftgeschwindigkeit, die Strömungssimulation zeigt das gleiche Profil wie die Temperatur. Das lässt darauf schließen, dass der Luftstrom bei höherer Geschwindigkeit weiter in Richtung Bandmitte getragen wird und dort für höhere Temperaturen sorgt. Darüber hinaus wird die von den unteren Bändern zuströmende Luft an den Leitblechen zur Bandmitte hin abgelenkt und bewirkt eine weitere Temperaturerhöhung.

## Zusammenfassung

Die ungleichmäßige Luftverteilung von Bandtrocknern stellt häufig ein Problem dar. Mit Hilfe von Messungen und Simulationen können die Schwachstellen aufgedeckt und ihnen entgegengewirkt werden. Da die Randtrocknung eine entscheidende Rolle spielt, ist das Ziel, die Trocknungsluft möglichst weit ins Trocknerinnere zu leiten. Mögliche Verbesserungen sind der

Einbau längerer Leitbleche an den Zuluftschlitzen oder die Erhöhung der Zuluftgeschwindigkeit.

Die Erkenntnisse aus den Messungen und der Simulation sollen zu konstruktiven Verbesserungen von Bandtrocknern führen. Ziel ist es, eine optimierte Strömungsführung mit homogener Temperaturverteilung über der Trocknungsfläche zu erhalten.

## Literatur

- [1] Quaaas, F. and E. Schiele, Einfluss der Energiekosten auf die Rentabilität im Trocknungsbetrieb. Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen, 2001. 6(3): pp. 144-145
- [2] Bux, M., J. Graf, et al., Erfassung der räumlichen und zeitlichen Gutfeuchte- und Temperaturverteilung durch berührungslose Oberflächentemperaturmessung bei der Trocknung von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Artischocke (*Cynara scolymus* L.) in einem Bandtrockner. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen, 2006. 11(4): pp. 186-190
- [3] Mathioulakis, E., V.T. Karathanos, and V.G. Belessiotis, Simulation of air movement in a dryer by computational fluid dynamics: Application for the drying of fruits. Journal of Food Engineering, 1998. 36(2): pp. 183-200
- [4] Yue, X., J. Zhao, et al., Analysis of air velocity distribution in a multilayer conveyor dryer by computational fluid dynamics. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 2007. 2(2): pp. 108-117
- [5] Fluent, Fluent 6.3 User's Guide. Chapter 12: Modeling Turbulence. 2006.

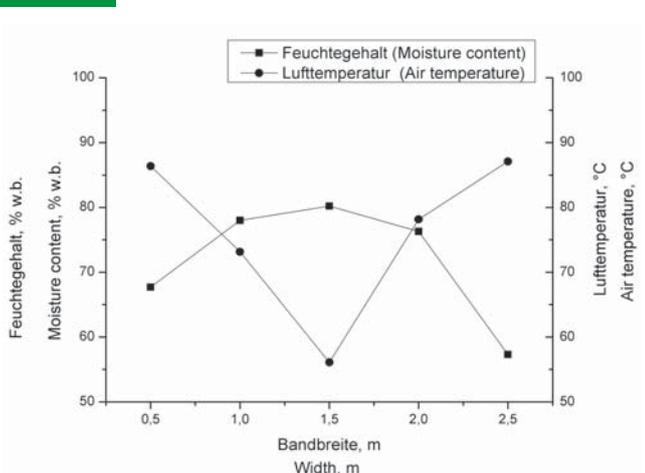
## Autoren

**Dipl.-Ing. Martin Böhner, M.Sc. agr. Isabel Barfuss** und **Dr.-Ing. Albert Heindl** sind wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Agrartechnik in den Tropen und Subtropen (**Leitung Prof. Dr. J. Müller**), Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: martin.boehner@uni-hohenheim.de

## Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) für die Förderung des Projektes (Förderkennzeichen: 22013007) durch finanzielle Unterstützung über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMELV für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe und der Arzneipflanzen GbR, Groß-Gerau, für die Unterstützung bei den Messungen.

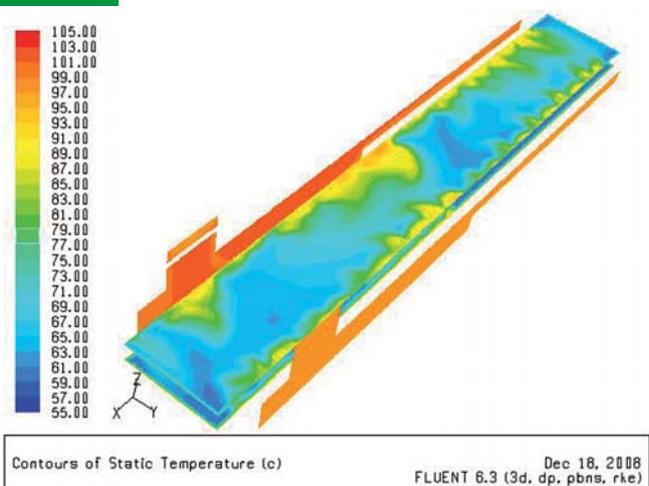
Abb. 2



Feuchtegehalt und Lufttemperatur über die Bandbreite in der Mitte des ersten Bandes

Fig. 2: Moisture content and air temperature across the belt width in the middle of the first band

Abb. 3



CFD Simulation der Temperaturverteilung über dem ersten Trocknerband

Fig. 3: CFD simulation of the temperature distribution above the first dryer band