

Fabian Weigler, Jochen Mellmann und Holger Scaar

Numerische Berechnung von Partikel- und Luftströmung in einem Dächerschachttrockner

Dächerschachttrockner werden weltweit in der Landwirtschaft zur Trocknung verschiedenster Getreidearten sowie Mais und Reis eingesetzt. Im Vergleich zu anderen Trocknungsverfahren weist das Trocknen in Dächerschachttrocknern noch ein deutliches Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz auf. Der vergleichsweise hohe Primärenergieverbrauch wird überwiegend durch ungleichmäßige Trocknung hervorgerufen, die sich weniger auf Ursachen wie eine mangelhafte Trocknerregelung als auf ein ungünstiges Trocknerdesign und unzureichende Isolierung zurückführen lässt. Zur Optimierung der verarbeitenden Prozesse in agrartechnischen Anlagen werden immer häufiger numerische Methoden angewendet. Ein hohes Potenzial zur Effizienzsteigerung von Dächerschachttrocknern bietet die Optimierung der Trocknergeometrie. Im Folgenden werden die Methoden der Computational Fluid Dynamics (CFD) und der Diskreten-Elemente-Methode (DEM) verwendet, um den aktuellen Stand der Technik numerisch zu untersuchen.

Schlüsselwörter

Dächerschachttrockner, Feststofftransport, Luftströmung, DEM, CFD

Keywords

Mixed-flow grain dryer, solids transport, air-flow, DEM, CFD

Abstract

Weigler, Fabian; Mellmann, Jochen and Scaar, Holger

Numerical calculation of particle and air flow in a mixed flow grain dryer

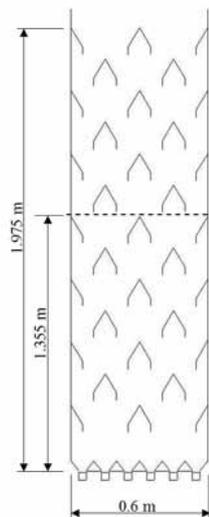
Landtechnik 67 (2012), no. 6, pp. 429–431, 4 figures, 9 references

Mixed flow dryers (MFD) are widely used in agriculture for the drying of various crops including maize and rice. As compared to other drying methods in the industrial drying, mixed flow dryers still have considerable potential for improving energy efficiency. The comparatively high primary energy consumption is mainly caused by uneven drying, which, in turn, is caused less by poor dryer control rather than by unfavorable dryer design. In order to optimize the processes in agricul-

tural engineering, such as the mixed flow dryer, numerical methods are being increasingly used. Optimization of the dryer geometry provides a high potential to further increase the efficiency of MFD. In the following, the methods of Computational Fluid Dynamics (CFD) and the Discrete Element Method (DEM) are used to investigate the state of the art.

■ Dächerschachttrockner (DST) werden zum Trocknen von verschiedenen Getreidearten sowie Mais und Reis eingesetzt, um diese über einen längeren Zeitraum lagerstabil zu machen. Dabei wird dem zu trocknenden Gut über horizontal angeordnete Luftkanäle konvektiv Wärme zugeführt und die mit Wasser beladene Luft über versetzt angeordnete Luftkanäle abgeführt [1; 2; 3]. Die konvektive Trocknung von Getreide in Dächerschachttrocknern hat noch immer Potenzial zur Optimierung des Prozesses, vor allem bei der Optimierung des Trocknungsapparates. Einbauten, die unvorteilhaft konstruiert und unpassend angeordnet sind, können ungleichmäßige Verweilzeiten der Partikelströme sowie inhomogene Trocknungsbedingungen verursachen. Die ungleichmäßige Trocknung führt zu über- und untertrocknetem Getreide und damit verbunden zu einem erhöhten spezifischen Energiebedarf sowie Qualitätsverlusten. Um zukünftig die Produktqualität zu steigern und den Energiebedarf zu senken, ist der Partikelmasstrom und die Strömungsverteilung der Trocknungsluft im Trockner zu untersuchen. Die Komplexität der Gas-Feststoff-

Abb. 1



Schema des untersuchten Dächerschachttrockners
 Fig. 1: Schematic diagram of the investigated mixed-flow dryer

Wechselwirkungen (Gleich-, Gegen-, Kreuzstrom) im DST erfordert den Einsatz numerischer Berechnungsmethoden.

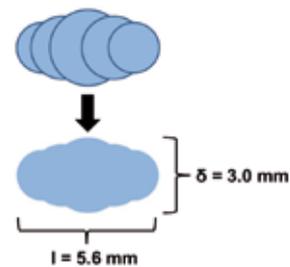
Numerische Untersuchungen

Der zu untersuchende Dächerschachttrockner besteht aus einem vertikalen Trocknungsschacht, in dem die Lufterlass- und Luftauslass-Dächer horizontal versetzt angeordnet sind, siehe **Abbildung 1**. Der Trocknungsluftstrom wird mithilfe der Lufterlass- und Luftauslass-Dächer gelenkt. Das feuchte Gut wird von oben in den Trockner gefüllt und fließt aufgrund der Schwerkraft vertikal nach unten. Am Boden des Trockners befindet sich die Austragsvorrichtung, mit der der Schüttgutmassenstrom geregelt wird.

Diskrete-Elemente-Methode

Die Diskrete-Elemente-Methode (DEM) beschreibt das mechanische Verhalten von Partikelschüttungen auf der Basis von Einzelpartikeln als diskrete Strukturen. Im Vergleich zur Finite-Elemente- oder Finite-Volumen-Methode kommt die DEM ohne jegliche Gittermatrix aus. Im Berechnungsprozess wird das Bewegungsverhalten des Schüttgutes sowohl mithilfe der Berechnung der Newtonschen Bewegungsgesetze für Partikel als auch eines Kontaktgesetzes für die Wechselwirkungen zwischen den Partikeln beschrieben. Das mechanische Verhalten einer Partikelschüttung wird dabei durch die Bewegung der Einzelpartikel beschrieben. Die DEM wurde von Cundall [4] eingeführt, und durch Cundall und Strack [5] zur Beschreibung des Bewegungsverhaltens von Böden angewendet. Bei der DEM werden Partikelbewegungen numerisch mithilfe eines expliziten Zeitintegrations-Verfahrens mit Rand- und Anfangsbedingungen berechnet. In dieser Arbeit wurde die Software PFC 2D[®] verwendet um das Partikelfließverhalten in Dächerschachttrocknern mit der DEM beschreiben zu können. Um das reale Bewegungsverhalten von Weizenkörnern abzubilden,

Abb. 2



Modell eines Weizenkorns
 Fig. 2: Model of a wheat grain

wurden im Modell Partikelcluster aus verbundenen Kugeln (**Abbildung 2**) generiert. Jedes Cluster hat eine ellipsoide Form und eine Länge von 5,6 mm sowie eine Dicke von 3 mm. Die mechanischen Eigenschaften der Cluster entsprechen den mechanischen Eigenschaften von Weizen nach Mühlbauer [6].

Computational Fluid dynamics

Eine in der Verfahrenstechnik weitverbreitete Methode zur Berechnung von Luftströmungen ist die Finite-Volumen-Methode (FVM). Diese Methode berechnet die Eigenschaften einer Fluidströmung in einem System durch die Berechnung der Erhaltungssätze für Masse, Impuls und Energie. Das Auftreten und die Zerstreuung von Turbulenzen werden durch den sogenannten Reynolds Stress-Tensor, nach dem Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS) Theorem beschrieben. Zur Modellierung der Turbulenz wird ein Zwei-Gleichungs-Modell SST (Shear Stress Transport) nach Menter [7] verwendet. Zur Diskretisierung der Differenzialgleichungen wird eine Gittermatrix, auch Netz genannt, in dem zu berechnenden System generiert. Rand- und Anfangsbedingungen werden für die Grenzen des Systems definiert und die Erhaltungsgleichungen mithilfe des Netzes durch das Gaußsche-Integral-Theorem angenähert.

Bei der Berechnung der Luftströmung in einem Dächerschachttrockner wird die Partikelschüttung als ein poröses Medium betrachtet. Die Porosität einer Weizenkörnerschüttung wurde nach Matthies [8] und der spezifische Druckverlust mithilfe experimentell gemessener Werte nach der Ergun-Gleichung bestimmt.

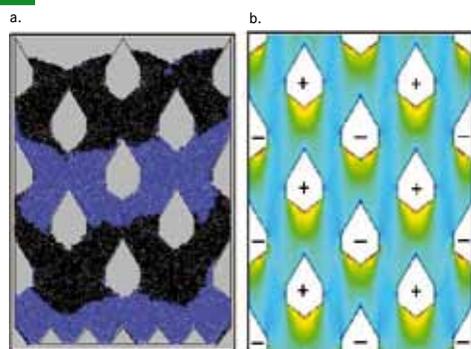
Die Strömungsgeschwindigkeit am Eingang der Strömungsdächer wurde experimentell ermittelt. Luftströmungsuntersuchungen wurden für zwei typische Luftkanalanordnungen in Dächerschachttrocknern durchgeführt. Die erste Konfiguration wird als horizontale, die zweite Konfiguration als diagonale Anordnung bezeichnet. In der ersten Konfiguration werden Reihen mit Zu- und Abluftkanälen abwechselnd horizontal angeordnet, in der zweiten Konfiguration werden die Zu- und Abluftkanäle sequentiell diagonal angeordnet.

Ergebnisse

Partikelmassenstrom

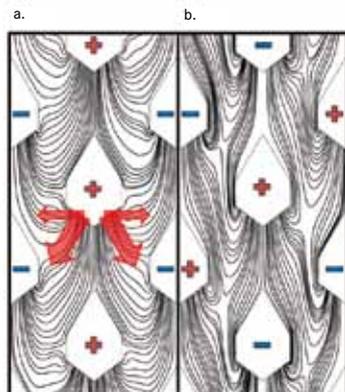
Die Simulationen des Partikelmassenstroms in einem Dächerschachttrockner (**Abbildung 1**) mit weizenkornförmigen Parti-

Abb. 3



Numerische Untersuchung eines Dächerschachttrockner mit horizontaler Luftkanalanordnung
a.) Partikelmassenstrom mit DEM b.) Luftströmung mit CFD
Fig. 3: Numerical investigation of a MFD with horizontal air duct arrangement
a.) solid mass flow with DEM b.) air flow with CFD

Abb. 4



CFD Simulation der Luftströmung in einem Dächerschachttrockners mit a.) horizontaler und b.) diagonaler Luftkanalanordnung
Fig. 4: CFD simulation of air flow in a MFD with
a.) horizontal and b.) diagonal air duct arrangement

keln zeigen ein Geschwindigkeitsprofil, das sich über die Trocknerbreite verteilt. Der Partikelstrom in der Mitte des Trockners (Kernzone) weist eine höhere Geschwindigkeit als die beiden Partikelströme an den Seitenwänden des Trockners (Wandzone) auf (Abbildung 3, a.). Diese Ungleichverteilung der Partikelgeschwindigkeiten zeigt den Einfluss der Wandreibung und der halben Luftkanäle an den Seitenwänden. Als Folge dieser unterschiedlichen Partikelgeschwindigkeiten haben Partikel unterschiedliche Verweilzeiten im Trockner [9]. Es kommt zu einer ungleichmäßigen Verweilzeitverteilung der Partikel und somit zu einem ungleichen Trocknungsergebnis durch Über- und Untertrocknung des Getreides.

Luftströmung

Die Untersuchungen der Trocknungsluftströmung bei der horizontalen Anordnung der Luftkanäle zeigen, dass die Luft von einem Zuluftdach (+) zu den umliegenden 4 Abluftkanälen (-) strömt (Abbildung 4, a.), wobei der Luftstrom zu den unteren Abluftdächern größer ist als zu den oberen.

Bei der diagonalen Anordnung der Luftkanäle zeigt sich, dass der Luftstrom ungleichmäßig auf die umliegenden Abluftdächer verteilt wird (Abbildung 4, b.). Dadurch kommt es innerhalb des Trockners zu einer Ausbildung von strömungsarmen und strömungsintensiven Bereichen. Aufgrund der auftretenden Ungleichverteilungen sind die maximalen Luftgeschwindigkeiten in der diagonalen Konfiguration höher als in der horizontalen Konfiguration.

Die unterschiedlichen Verweilzeiten der Partikel zwischen Kern- und Wandbereichen im Trockner (Abbildung 3, a.), führen zu einer Feuchtigkeitsverteilung am Austrag des Trockners. Durch die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten im Trockner (Abbildung 3, b.) werden diese Effekte noch verstärkt

Schlussfolgerungen

Um zusätzliche Trocknungskosten (Energiebedarf) und wirtschaftliche Verluste durch Übertrocknen oder die Bildung von Schimmel und Toxinen bei der Lagerung durch Untertrocknung zu vermeiden, ist es notwendig den Trocknungsprozess in Dächerschachttrocknern zu optimieren. Die gewonnenen Ergebnisse bilden die Grundlage für die Entwicklung einer neuen Trocknergeometrie, die es ermöglichen wird, die Luftströmung der Partikelströmung anzupassen: Der Luftmassenstrom wird in Regionen mit geringer Partikelgeschwindigkeit verringert und in Regionen mit hoher Partikelgeschwindigkeit erhöht werden. Ein angestrebter Vergleich der herkömmlichen mit der neu entwickelten Trocknergeometrie soll Vor- und Nachteile beider Systeme aufzeigen.

Literatur

- [1] Brooker, D.B.; Bakker-Arkema, F.W.; Hall, C.W. (1992): *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Van Nostrand Reinhold, New York
- [2] Bruce, D.M. (1984): *Simulation of Multiple-Bed Concurrent-, Counter-, and Mixed-Flow Grain Driers*. *Journal of Agricultural Engineering Research* 30(4), pp. 361-372
- [3] Nellist, M.E.; Bruce, D.M. (1995): *Heated-Air Grain Drying*. In: *Stored-Grain Ecosystems*, D.S. Jayas, N.D.G. White; W.E. Muir (Eds.), New York: Marcel Dekker Inc., Chapter No. 16, pp. 609-659
- [4] Cundall, P.A. (1971): *A computer model for simulating progressive large scale movements in blocky rock systems*, *Proceedings of the symposium of the international society of rock mechanics*, Nancy, France, Vol. 1, Paper No. II-8
- [5] Cundall, P.A.; Strack, O.D.L. (1979): *A discrete numerical model for granular assemblies*, *Geotechnique* 29(1), pp. 47-65
- [6] Mühlbauer, W. (2009): *Handbuch der Getreidetrocknung – Grundlagen und Verfahren*. Agrimedia
- [7] Menter, F.R. (1994): *Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications*. *AIAA-Journal* 32(8), pp. 1598-1605
- [8] Matthies, H. J. (1956): *Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter*, VDI-Forschungsheft 454, VDI-Verlag, Berlin
- [9] Cao, C.W.; Yang, D.Y.; Liu, Q. (2007): *Research on Modeling and Simulation of Mixed-Flow Grain Dryer*. *Drying Technology* 25(4), pp. 681-687

Autoren

Dipl.-Ing. Fabian Weigler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter,

Dipl.-Ing. (FH) Holger Scaar ist Versuchsingenieur und

Dr.-Ing. Jochen Mellmann Leiter der Arbeitsgruppe Trocknung

am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB),

Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung,

Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: fweigler@atb-potsdam.de