

# Untersuchung der Trocknungsluftströmung an einer neu entwickelten Geometrie für Dächerschachttrockner

Holger Scaar, Fabian Weigler, Georg Franke, Jochen Mellmann

Zu Ehren von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Maltry anlässlich seines 85. Geburtstages

Der Dächerschachttrockner wurde in den letzten Jahren hinsichtlich der Trocknungseffizienz, Regelungstechnik und Leistungssteigerung vielfach analysiert. Dennoch besteht erheblicher Optimierungsbedarf bezüglich Energieeffizienz und Gleichmäßigkeit der Trocknung. Zur Analyse des spezifischen Energieverbrauchs und der Homogenität des Trocknungsprozesses wurden thermodynamische Prozesszustände anhand der konventionellen Trocknergeometrie numerisch und experimentell analysiert. Aus den gewonnenen Ergebnissen wurde eine neue Trocknergeometrie entwickelt, mit der eine deutliche Effizienzsteigerung erreicht werden soll. Wie die strömungsmechanische Analyse des ersten Designentwurfs ergab, ist weiterer Entwicklungsbedarf bis zur Praxisüberführung erforderlich. Während im Kernflussbereich in der Trocknermitte gleichmäßige Strömungsbedingungen nachgewiesen werden konnten, ist die Konstruktion in den wandnahen Bereichen zu optimieren.

## Schlüsselwörter

Getreidetrocknung, Dächerschachttrockner, CFD, Luftströmungsmessung, Trocknerentwicklung

In Deutschland entscheiden sich 90 % der landwirtschaftlichen Betriebe für ein Trocknungsverfahren zur Konservierung der Erntefrüchte (BOMBIEN 2013). Zur konvektiven Trocknung großer Massenströme von Getreide werden weltweit Dächerschachttrockner (DST) in großer Stückzahl in Betrieben des Agrarhandels, der Landwirtschaft und der Ernährungsindustrie eingesetzt (MÜHLBAUER 2009). Die Forschung und Entwicklung folgt diesem aktuellen Trend bisher nur unzureichend. So blieb die Apparategestaltung des Dächerschachttrockners über Jahrzehnte praktisch unverändert. Nach MAIER und BAKKER-ARKEMA (2002) ist für dieses Trocknungsverfahren bisher noch kein optimales Design hinsichtlich Form, Größe und Anordnung der Luftkanäle entwickelt worden, um Produktinhomogenitäten bei der Trocknung zu reduzieren. Dieses Verfahren beinhaltet noch ein erhebliches Optimierungspotenzial in der Apparategestaltung, da die Energieeffizienz und die Produktqualität durch eine gleichmäßigere Trocknung deutlich gesteigert werden können.

Der DST besteht aus einem vertikalen Schacht, in dem dachförmige Einbauten zur Verteilung der Trocknungsluft gleichmäßig über der gesamten Höhe angeordnet sind. Die Gleichmäßigkeit der Trocknung in Dächerschachttrocknern wird maßgeblich durch die Anordnung, Form und die Anzahl der Luftkanäle für Zu- bzw. Abluft bestimmt. Bei der Trocknerkonstruktion müssen die unterschiedlichen Partikeleigenschaften der Trocknungsgüter (Getreide, Mais, Raps, Sonnenblumen, etc.) beachtet werden. Aus verfahrenstechnischer Sicht wäre in jedem Falle eine produktspezifische Trocknerauslegung zu bevorzugen, bei der sich ändernde Fließeigenschaften (Partikelform, Feuchtegehalt) während der

Trocknung in den Berechnungen berücksichtigt werden könnten. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen haben sich in der Landwirtschaft hingegen Universal Trockner etabliert. Dächerschachttrockner werden üblicherweise für eine Vielzahl rieselfähiger, körniger Produkte eingesetzt. Dies erschwert zusätzlich eine Trocknerauslegung. Schwierigkeiten bei der Berechnung resultieren aus der Komplexität des Trocknungsprozesses: Getreide- und Luftströmung werden gleichzeitig im Gleichstrom, Gegenstrom und Kreuzstrom durch den Trocknerschacht geführt (MÜHLBAUER 2009, OLESEN 1982). Dies ist möglicherweise auch ein Grund dafür, dass bisher wenige wissenschaftliche Arbeiten zur Luftströmung, der Partikelbewegung und der Wärme- und Stoffübertragung vorliegen (OLESEN 1982, MALTRY 1966, KLINGER 1977, CENKOWSKI et al. 1990). Gerade die Luftströmung im DST blieb aufgrund ihrer Komplexität weitgehend unbetrachtet. Dabei beeinflusst insbesondere die Strömungsverteilung in der Trocknungsanlage maßgeblich die Temperaturverteilung und somit den Trocknungsverlauf. Die Mehrzahl der Forschungsarbeiten war bisher auf die Entwicklung und Optimierung von Trocknersteuerungen fokussiert (McFARLANE und BRUCE 1991, COURTOIS et al. 1995). Die vielfältigen Möglichkeiten der verfahrenstechnischen Prozessoptimierung blieben weitgehend ungenutzt. In neuerer Zeit ist eine steigende Zahl wissenschaftlicher Arbeiten zum Dächerschachttrockner erschienen (MELLMANN et al. 2007, MELLMANN et al. 2011, KEPPLER et al. 2012). Untersuchungen zur Durchströmung von landwirtschaftlichen Schüttgütern wurden bereits von MATTHIES (1956) durchgeführt. CENKOWSKI et al. (1990) beschrieben die Isobarenverteilung in einem DST mithilfe der Finite-Elemente-Methode und verglichen die Ergebnisse mit experimentell ermittelten Isobarenverteilungen.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der numerischen Analyse der Strömungsverteilung der Trocknungsluft im neu entwickelten Dächerschachttrockner, nachdem in einer vorangegangenen Arbeit die Partikelbewegung in dieser neuen Apparategeometrie untersucht wurde (WEIGLER et al. 2014). Zur Berechnung der Luftströmung wurde ein numerisches Modell des Dächerschachttrockners auf Basis der Computational Fluid Dynamics (CFD) entwickelt (SCAAR et al. 2015). Für die experimentellen Strömungsuntersuchungen wurden geeignete Methoden zur Bestimmung der Isobarenverteilung und der Verweilzeit der Trocknungsluft in der Schüttung entwickelt und angewandt. Das CFD-Modell wurde anhand der experimentellen Isobarenverteilungen validiert. Anschließend wurde die Wirkung der unterschiedlichen Luftkanalanordnungen herkömmlicher Apparategestaltungen auf die Strömungsverteilung untersucht und bewertet. Die Ergebnisse bilden die Grundlage zur Analyse der Strömungsverteilung in der am ATB Potsdam neu entwickelten Trocknergeometrie (MELLMANN et al. 2012). Die numerischen Berechnungen sind unter isothermen Luftbedingungen im Ruhezustand der Partikelschüttung durchgeführt worden.

## Numerisches Modell

Zur strömungsmechanischen Analyse des DST wurde ein mathematisches Modell auf Basis der CFD entwickelt und anhand von Differenzdruckmessungen validiert (SCAAR et al. 2015). Das Modell wurde verwendet, um die Strömungsverteilung im Schachttrockner für unterschiedliche Trocknergeometrien und Dachanordnungen zu berechnen.

Dabei wurden der Druckverlust in der Schüttung und die Luftströmungsverteilung mittels Massen-, Energie- und Impulsbilanz unter Berücksichtigung der Schüttgutcharakteristik, Trocknergeometrie und der Trocknungskinetik simuliert. Zur digitalen Nachbildung der Trocknergeometrie wurden die verschiedenen Apparategestaltungen mittels eines Finite-Volumen-Netztes diskretisiert. Hierfür wurde die Software Ansys® ICEM verwendet. Die anschließende Analyse der Strömungsverteilung

erfolgte mithilfe der Software Ansys® CFX. Zur Berechnung des Druckprofils in der Schüttung wurde die Druckverlust-Gleichung nach Ergun (VDI 2006) in die Impulserhaltungsgleichung integriert.

### Experimentelle Validierung

Zur Modellvalidierung anhand von Differenzdruckmessungen wurde ein Versuchsstand bestehend aus einer Luftkonditionierungsanlage und einem Dächerschachttrockner aufgebaut (Abbildung 1, a). Die Trocknersäule umfasst 13 Luftkanalreihen in horizontaler Anordnung und ein pneumatisches Schlitzboden-Austragssystem. Jede Dachreihe beinhaltet 2 vollständige Luftkanäle, wobei von oben beginnend Zuluftdachreihen mit 2 halben und 1 vollen Luftkanal und Abluftdachreihen mit 2 vollen Luftkanälen abwechselnd angeordnet sind.

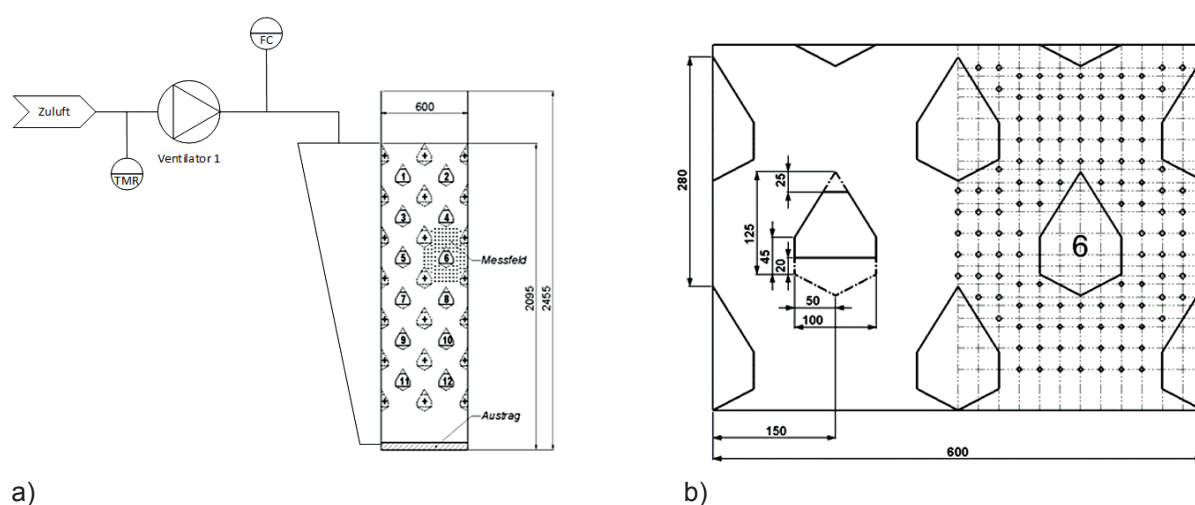


Abbildung 1: Schematische Darstellung a) der Versuchsanlage und b) des Isobarenmessfeldes

Mit einem Schachtquerschnitt von 0,6 x 0,4 m wurde der Technikumstrockner dem Ausschnitt eines Industrietrockners nachgebildet. Das heißt, Breite und Tiefe des Trockners wurden im Maßstab 1 : 5 verkleinert. Das Füllvolumen des Trocknerschachtes incl. Vorratssektion beträgt 0,48 m<sup>3</sup>. Dies entspricht einer Füllmasse von ca. 350 kg Weizen. Die Abmessungen der Luftkanäle und die Dachabstände wurden nicht skaliert und entsprechen denen großtechnischer Trockner. Dadurch kommt der Versuchstrockner dem Ausschnitt eines realen Schachttrockners gleich. Dies hat keine negativen Auswirkungen auf die Luftströmungsverteilung im Trockner. Auch die Ähnlichkeit der Partikelströmung bleibt durch Beibehaltung des Modellschüttgutes (u. a. Partikeldurchmesser) und der Dachabmessungen erhalten. Jedoch wird der Wandeinfluss durch die relative Nähe der Trocknerwände zueinander verstärkt.

Die Experimente zur Strömungsverteilung im Trockner wurden unter konstanten Bedingungen (20 °C, 65 % r.H.) durchgeführt. Der Luftvolumenstrom wurde auf 465 m<sup>3</sup>/h eingestellt. Dieser Wert ergibt sich rechnerisch aus einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von etwa 0,2 m/s in der Schüttung, die nach MÜHLBAUER (2009) im Bereich optimaler Strömungsgeschwindigkeiten in Dächerschachttrocknern liegt. Als Schüttgut wurde getrockneter Weizen mit einer Gutfeuchte von 11 % verwendet. Nach der Befüllung des Trockners wurden zum Setzen der Schüttung und zur Ausbildung des charakteristischen Schüttwinkels unter den Dächern (Abbildung 1) einige Austräge getätigt.

Zur Messung der Strömungscharakteristik zwischen den Zu- und Abluftdächern wurde der Schachttrockner im Druckbetrieb gefahren. Für die Differenzdruckmessungen wurde etwa in mittlerer Höhe des Trockners ein Messfeld zwischen der 5. und 7. Dachreihe (von oben) aufgespannt. Dazu wurde der Abluftkasten entfernt. Das Messgitter umfasste 116 Messpunkte, die zwischen dem zentralen Abluftdach 6 und den vier umliegenden Zuluftdächern angeordnet waren (Abbildung 1, b). Die 4 umliegenden Zuluftdächer wurden vom Messgitter je zur Hälfte abgedeckt. Das war für die Erfassung der Strömungsverteilung ausreichend, da bei der horizontalen Anordnung bekanntlich eine Vierteilung des Luftvolumenstroms von einem Zuluftdach auf die vier umliegenden Abluftdächer (im Saugbetrieb) erfolgt (MALTRY 1966). Umgekehrt gilt dies auch im experimentell realisierten Druckbetrieb, bei dem das zentrale Abluftdach 6 von den vier umliegenden Zuluftdächern gespeist wurde. Die Abstände zwischen den Messpunkten betragen in horizontaler Richtung 25 mm und in vertikaler Richtung 26 mm. An jedem Messpunkt wurde eine Bohrung mit 6 mm Durchmesser in die Trocknerwand der Abluftseite eingebracht, die luftdicht verschließbar ist. Für die Messungen wurde eine Messlanze mit Differenzdrucksensor verwendet, die nacheinander über die Bohrungen in die Schüttung eingeführt und in der Mitte des Trockners bei einer Tiefe von 200 mm positioniert wurde. Die übrigen Messpunkte blieben dabei luftdicht verschlossen.

Die Messsonde bestand aus einem 250 mm langen Edelstahlrohr mit einem Durchmesser von 6 mm. An der Spitze der Messlanze war eine Gaze mit einer Maschenweite von 1 mm befestigt, um ein Verstopfen der Messlanze mit Körnern zu vermeiden. Am anderen Ende der Messlanze wurde ein Differenzdrucksensor mit einem Messbereich von  $\pm 250$  Pa und einer Messgenauigkeit von  $\pm 1,25$  Pa mithilfe eines Silikon Schlauches überdruckseitig angeschlossen. An der Unterdruckseite des Sensors lag Umgebungsdruck an. Die Abtastrate der Messsonde betrug 10 ms. Um Druckschwankungen zu glätten, wurden die Differenzdrücke über einen Messzeitraum von 120 s gemittelt. An jedem Messpunkt wurden die Messungen dreimal wiederholt. Aus diesen drei Messwerten wurde ein Mittelwert gebildet.

Zur Veranschaulichung der gemessenen Differenzdrücke und zur Modellvalidierung wurde das experimentelle Isobarenprofil anhand der Messwerte interpoliert und mit dem berechneten Isobarenverlauf verglichen (Abbildung 2). Wie die Grafik zeigt, stimmt das experimentell ermittelte Isobarenprofil mit dem numerisch berechneten Profil qualitativ gut überein. Außerdem wird deutlich, dass die gemessenen Isobaren eine geometrisch weniger geordnete Struktur aufwiesen als die berechneten.

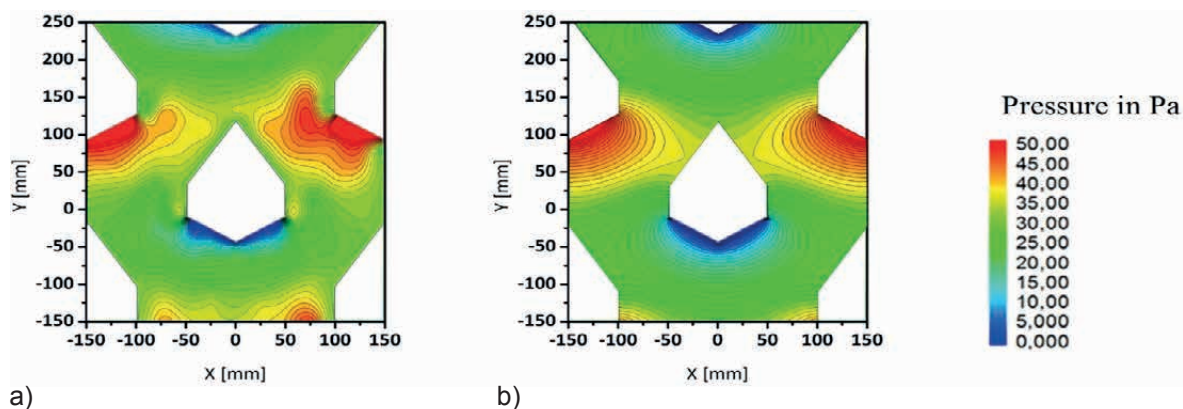


Abbildung 2: Vergleich zwischen a) gemessenen und b) berechneten Isobarenprofilen im Querschnitt des Schachttrockners, ermittelt bei einem Luftvolumenstrom von  $465 \text{ m}^3/\text{h}$

Dies ist modellbedingt und liegt zum größten Teil an der Annahme einer homogenen Schüttung mit monodispersen, kugelförmigen Partikeln und isotroper Porositätsverteilung. Dagegen weist die reale Kornschüttung lokale Porositätsdifferenzen auf, die durch die Verteilung der Partikelgrößen, eine unterschiedliche Ausrichtung der ellipsoiden Körner (bei Weizen) innerhalb der Schüttung oder durch Bruchkorn und Verunreinigungen hervorgerufen werden können.

Aus dem Vergleich zwischen Modell und Experiment ergab sich über alle 116 Messpunkte ein mittlerer relativer Fehler des Modells von 7,9% (VDI 2006). Damit liegt dieser Fehler lediglich um etwa 1% über dem mittleren relativen Messfehler aller Einzelmessungen, sodass eine sehr gute Übereinstimmung erzielt wurde.

## Ergebnisse

Um den Einfluss unterschiedlicher Luftkanalanordnungen auf die Strömungsverteilung der Trocknungsluft näher zu analysieren, werden nachfolgend zunächst die herkömmlichen Apparategestaltungen numerisch untersucht. Anschließend werden diese Ergebnisse mit denen der neu entwickelten Geometrie verglichen.

Bei der horizontalen Luftkanalanordnung (Abbildung 3, a) wechseln sich Zu- und Abluftkanalreihen in vertikaler Richtung ab (+ Zuluft, - Abluft). Ein wesentlicher Vorteil dieser Trocknergeometrie besteht in der gleichmäßigen Verteilung der Luftströmung von einem Zuluftdach zu den vier umliegenden Abluftdächern (WEIGLER et al. 2012) (Abbildung 2). Betrachtet man dagegen das Fließprofil der Getreideschüttung über dem Trocknerquerschnitt, so ist dieses durch ein ausgeprägtes Geschwindigkeitsprofil gekennzeichnet (MELLMANN et al. 2011, WEIGLER et al. 2014). Daraus resultieren erhebliche Differenzen in der Verweilzeit, wodurch eine Übertrocknung der Partikel an den Trocknerwänden sowie eine Untertrocknung der Partikel in der Kernströmung in der Trocknermitte verursacht wird. Aufgrund der geringen Quervermischung in Schachttrocknern kommt es zusätzlich zur Ausbildung vertikaler Gutfeuchtestrahlen entlang der übereinander liegenden Zuluft- bzw. Abluftdächer (MELLMANN et al. 2011).

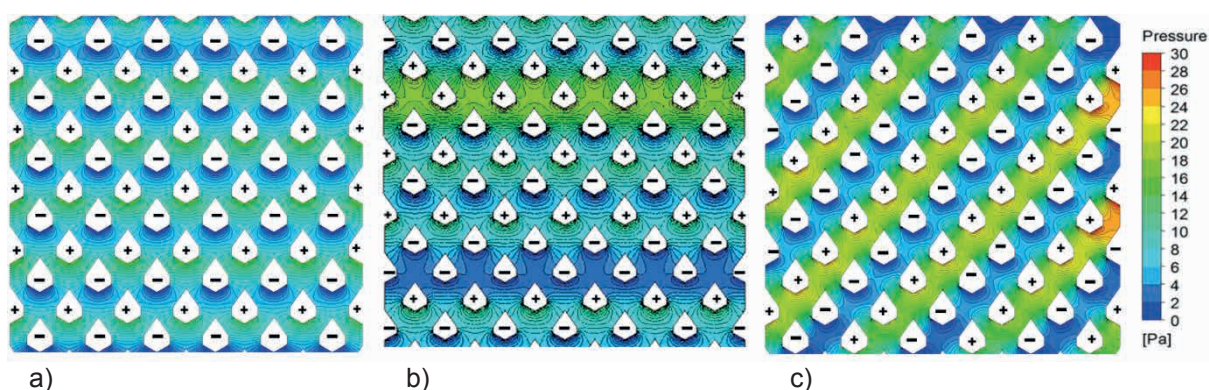


Abbildung 3: Druckverteilung im Schachttrockner bei a) horizontaler Dachanordnung, b) horizontaler Dachanordnung mit gedrehten Sektionen und c) diagonaler Dachanordnung, berechnet für einen Luftvolumenstrom von 465 m<sup>3</sup>/h

Eine bei modernen Dächerschachttrocknern bewährte Methode diesem Effekt entgegenzuwirken, ist die Drehung von Trocknersektionen bei horizontaler Dachanordnung (Abbildung 3, b). Dabei werden baugleiche Trocknersektionen alternierend über die Trocknerhöhe 180° um die vertikale Achse

gedreht. Diese Drehung der Sektionen führt zu einem Wechsel in der vertikalen Umströmung von Zu- und Abluftdächern. Einzelne Strähnen des Gutstroms werden dadurch zyklisch von heißer Zuluft bzw. kühler und relativ feuchter Abluft durchströmt, was zu einer gleichmäßigeren Trocknung führt. Ein wesentlicher Nachteil, der sich aus der Drehung der Trocknersektionen ergibt, liegt darin, dass zwei horizontale Zuluft- bzw. Abluftkanalreihen an der Schnittstelle zwischen den Trocknersektionen direkt aufeinanderfolgen. Dadurch entstehen lokal Gebiete mit erhöhter Luftgeschwindigkeit infolge Zuluftüberschuss (zu viele Zuluftkanäle) bzw. Gebiete mit geringer Luftgeschwindigkeit, in denen vermehrt Luft abgesaugt wird (zu viele Abluftkanäle) (Abbildung 3, b). Die Strömungsverteilung wird dadurch insgesamt inhomogen. Die klassische Vierteilung der Zuluft wird unterbrochen und das Trocknungspotenzial der Zuluft wird nicht optimal ausgenutzt.

Deshalb verwendet eine spezielle Bauform von Dächerschachttrocknern die diagonale Dachanordnung (Abbildung 3, c). Bei dieser Anordnung wechseln sich Zu- und Abluftkanalreihen in diagonaler Richtung ab, sodass jede Gutstromsträhne alternierend mit Zu- bzw. Abluft beaufschlagt wird. Diese Luftkanalanordnung wirkt sich jedoch nachteilig auf die Verteilung der Prozessluft in der Schüttung aus. Die Zuluft aus einem Dach wird bei dieser Anordnung nur auf zwei (statt vier) benachbarte Abluftdächer aufgeteilt (WEIGLER et al. 2012). Es entstehen wiederum Gebiete mit erhöhter bzw. geringer Luftgeschwindigkeit (Totzonen) bei der Durchströmung des Schüttgutes (Abbildung 3, c).

Auf Basis umfangreicher Voruntersuchungen und Erfahrungen wurde von der Arbeitsgruppe Trocknungstechnik des ATB Potsdam eine innovative Schachtgeometrie für den Dächerschachttrockner entwickelt (MELLMANN et al. 2012). Diese besteht aus einem vertikal angeordneten Trocknerschacht mit um den Winkel  $\Theta$  geneigten Wänden (Abbildung 4), wobei die Richtung der Neigung von Sektion zu Sektion wechselt. Der Versuchsaufbau besteht aus 6 Sektionen und hat eine Höhe von etwa 2 m sowie eine Gesamtbreite von 0,74 m bei einer Nutzbreite von 0,6 m und einer Tiefe von 0,4 m (WEIGLER et al. 2014). Die Luftkanäle haben eine asymmetrische, dreieckige Form und sind in horizontalen Reihen über dem Trockner angeordnet. Die asymmetrische Form der Luftkanäle unterstützt die beabsichtigte Lenkung des Partikelstroms in Neigungsrichtung der Sektionen. Eine Sektion besteht aus 3 Luftkanalreihen. Jede Reihe besteht aus 6 vollständigen und einem halben Luftkanal. Die Sektionen sind abwechselnd um  $180^\circ$  um ihre vertikale Achse gedreht.

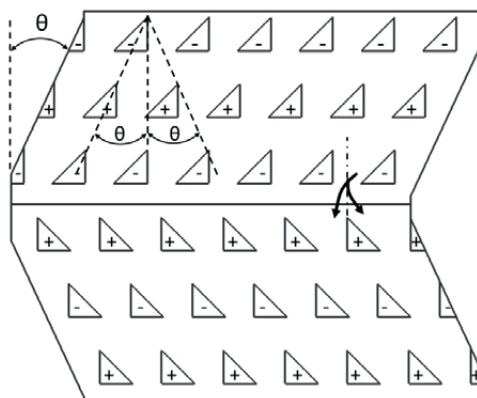


Abbildung 4: Am ATB Potsdam neu entwickelte Trocknergeometrie (MELLMANN et al. 2012)

Der Vorteil einer solchen Trocknergestaltung liegt in der kontinuierlich wechselnden Beaufschlagung einzelner Strähnen des Gutstroms mit Zu- bzw. Abluft unter Beibehaltung der horizontalen Luftkanalanordnung und der Viertelung der Zuluft. Zusätzlich findet nach jeder Trocknungszone eine Produktstrommischung (bzw. -teilung) statt, die durch entsprechende Anordnung der Sektionen zueinander erreicht wird (Abbildung 4). Diese mehrstufige Produktstrommischung führt zu einer deutlichen Homogenisierung der Trocknung.

Anhand der in Abbildung 5 dargestellten Druck- und Geschwindigkeitsverteilungen über der Trocknerbreite ist erkennbar, dass sich die neue Apparategestaltung vorteilhaft auf die Strömungsverteilung auswirkt. Sowohl das Isobarenprofil als auch die Geschwindigkeitsverteilung zeigen ein sehr homogenes Strömungsbild über der gesamten Trocknerhöhe. Wie die Darstellung der Vertikal-komponente der Luftgeschwindigkeit in Abbildung 5 (b) verdeutlicht, kommt es zur Ausbildung von Gleich- bzw. Gegenstromzonen zwischen den Dachreihen. Hierbei ist zu beachten, dass die Vertikal-komponente der Luftgeschwindigkeit in Richtung der y-Achse (aufwärts gerichtet) positiv definiert ist. Das heißt, bei Gegenstrom nimmt die Luftgeschwindigkeit positive Werte und bei Gleichstrom negative Werte an. Dieses Ergebnis bestätigt die Viertelung der Luftströmung bei dieser Luftkanalanordnung. Jedoch wird die Gutströmung in den Randzonen des Trockners durch die geneigten Seitenwände verlangsamt. Dieser Effekt wurde in Durchlaufversuchen mit Weizen an der in Abbildung 4 und 5 dargestellten Trocknergeometrie nachgewiesen (WEIGLER et al. 2014).

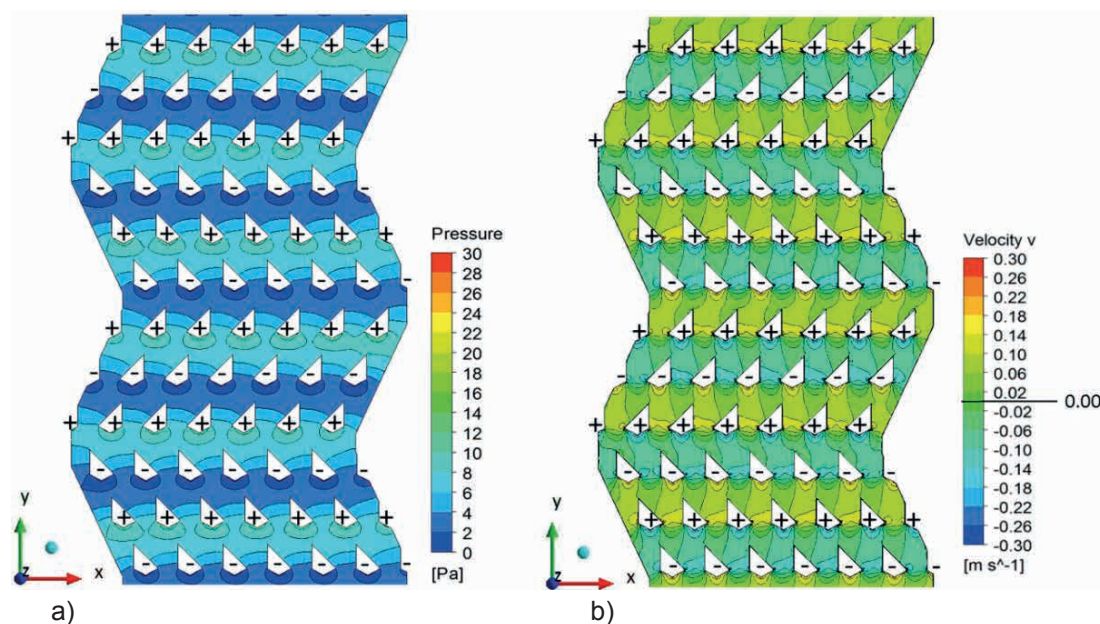


Abbildung 5: a) Druckverteilung und b) Verteilung der Vertikalkomponente der Luftgeschwindigkeit in der neuartigen Trocknergeometrie, berechnet für einen Luftvolumenstrom von  $465 \text{ m}^3/\text{h}$

Da dies zur Übertrocknung in den wandnahen Bereichen des Trockners geführt hätte, wurde dieser Konstruktionsentwurf bereits vor der Erprobung (Trocknung) modifiziert. Dazu wurden pro Trocknersektion nahe den Seitenwänden jeweils 2 vollständige und 2 halbe Luftkanäle entfernt (Abbildung 6). Diese Modifizierung führte zu einer Beschleunigung der Getreideströmung an den Seitenwänden. Allerdings resultierte daraus auch eine Ungleichverteilung der Prozessluftströmung in den wandnahen Bereichen (Abbildung 6, a und b). Die „unsymmetrische“ Entnahme von jeweils

2 vollständigen Zuluftkanälen rechts und zwei vollständigen Abluftkanälen links pro Doppelsektion führte zu einem örtlichen Luftüberschuss auf der linken Seite (erhöhter Druck: gelb-rot) bzw. einem Luftmangel auf der rechten Seite (geringer Druck: blau) (6, a). Während im Kernflussbereich in der Trocknermitte gleichmäßige Strömungsbedingungen vorliegen (Abbildung 6, b), ist die Schachtgeometrie in den wandnahen Bereichen zu optimieren. In einem laufenden Forschungsprojekt wird die neuartige Trocknerkonstruktion weiterentwickelt.

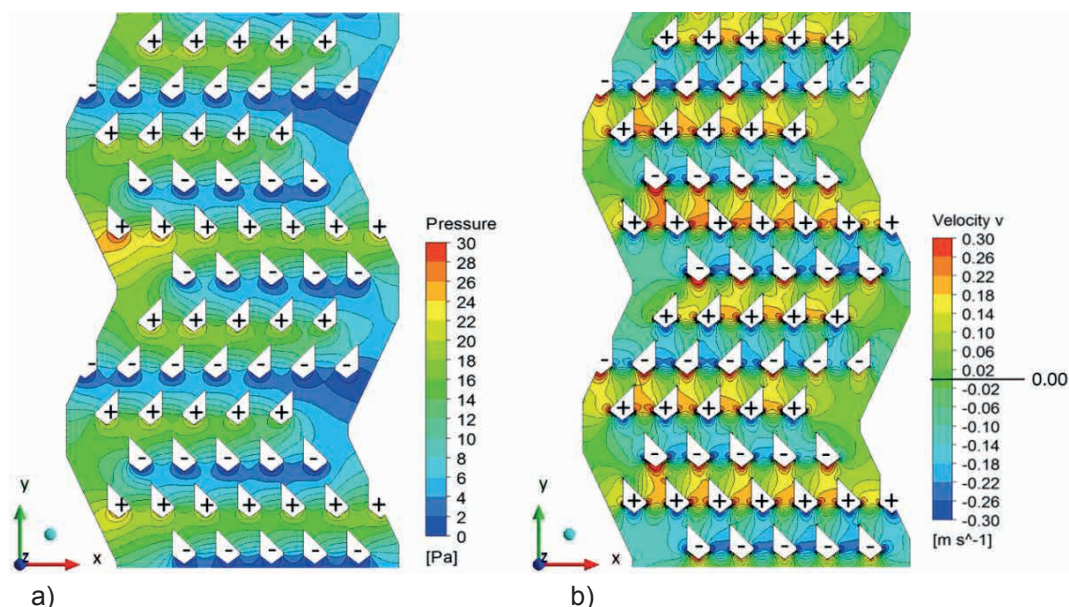


Abbildung 6: a) Druckverteilung und b) Verteilung der Vertikalkomponente der Luftgeschwindigkeit in der neuen Trocknergeometrie mit modifizierter Luftkanalanordnung, berechnet für einen Luftvolumenstrom von  $465 \text{ m}^3/\text{h}$

## Schlussfolgerungen

Die neu entwickelte Schachtgeometrie verbessert die Ausnutzung des Trocknungspotenzials der Zuluft durch den stetigen Wechsel in der Umströmung von Zu- bzw. Abluftkanalreihen, eine gleichmäßige Durchströmung des Schüttgutes infolge der Beibehaltung der horizontalen Dachanordnung mit optimaler Verteilung der Zuluft und aufgrund der mehrstufigen Produktstromeinmischung. Mithilfe des strömungsmechanischen Modells wurde die neu entwickelte Trocknergeometrie analysiert.

Zur Verbesserung der Partikelbewegung wurden Dacheinbauten an den Seitenwänden entfernt, um den Bremseffekt der geneigten Wände zu verringern. Die strömungsmechanische Untersuchung dieser modifizierten, neuen Schachtgeometrie zeigte jedoch, dass die Entfernung einzelner Luftkanäle sich negativ auf die Prozessluftverteilung an den Trocknerwänden auswirkte. Eine weitere Optimierung der neu entwickelten Trocknergeometrie ist deshalb erforderlich, um eine bessere Anpassung der Partikel- und Luftgeschwindigkeiten in den Wandbereichen zu erzielen. Mithilfe derartiger strömungsmechanischer Untersuchungen und Simulationen ist es möglich, neue Verfahren zu entwickeln und bereits etablierte, herstellertypische Systeme verfahrenstechnisch zu bewerten und zu optimieren.



## Literatur

- Bombien, M. (2013): Die hofeigene Getreidelagerung. *Getreidemagazin* 18(2), S. 60–63
- Cenkowski, S.; Miketinac, M.; Kelm, A. (1990): Airflow patterns in a mixed-flow dryer. *Journal of Canadian Agricultural Engineering* 32, pp. 85–90
- Courtois, F.; Nouafo, J. L.; Trystram, G. (1995): Control strategies for corn mixed-flow dryers. *Drying Technology* 13, pp. 147–164, <http://dx.doi.org/10.1080/07373939508916946>
- Kepler, I.; Kocsis, L.; Oldal, I.; Farkas, I.; Csatar, A. (2012): Grain velocity distribution in a mixed flow dryer. *Advanced Powder Technology* 23, pp. 824–832, <http://dx.doi.org/10.1016/j.appt.2011.11.003>
- Klinger, J. (1977): Einige thermodynamische und strömungstechnische Untersuchungen zur Modellierung der Vorgänge in Dächerschachttrocknern für Getreidekörner. Dissertation, TU Dresden
- Maier, D.E.; Bakker-Arkema, F.W. (2002): Grain drying systems. In: Proceedings of the 2002 Facility Design Conference of the Grain Elevator & Processing Society, St. Charles, IL, July 28–31, 2002, pp. 1–53
- Maltry, W. (1966): Einige Untersuchungen zur Aufklärung des Verhaltens von Getreide im Dächer-Schachttrockner. *Archiv für Landtechnik* 5(3), S. 223–264
- Matthies, H. J. (1956): Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter. Aus den Arbeiten des Institutes für Landmaschinen der Technischen Hochschule Braunschweig
- McFarlane, N.J.B.; Bruce, D.M. (1991): Control of mixed-flow grain-driers: development of a feedback-plus-feedforward algorithm. *Journal of Agricultural Engineering Research* 49, pp. 243–258, [http://dx.doi.org/10.1016/0021-8634\(91\)80042-D](http://dx.doi.org/10.1016/0021-8634(91)80042-D)
- Mellmann, J.; Richter, I.-G.; Maltry, W. (2007): Experiments on Hot-Air Drying of Wheat in a Semi-Technical Mixed-Flow Dryer. *Drying Technology* 25, pp. 1287–1295, <http://dx.doi.org/10.1080/07373930701438832>
- Mellmann, J.; Iroba, K.L.; Metzger, T.; Tsotsas, E.; Meszáros, C.; Farkas, I. (2011): Moisture content and residence time distributions in mixed-flow grain dryers. *Biosystems Engineering* 109, pp. 297–307, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.04.010>
- Mellmann J.; Weigler, F.; Scaar, H.; Teodorov, T. (2012): Dächerschachttrockner zur Trocknung von Schüttgut. Europäisches Patent EP 2453192A2, 16.05.2012
- Mühlbauer, W. (2009): Handbuch der Getreidetrocknung. Agri Media Verlag, Clenze
- Olesen, H.T. (1982): Korn tørring. Innovation Development Engineering ApS Aasvej, 7700 Thisted, Denmark
- Scaar, H.; Franke, G.; Weigler, F.; Delele, M.A.; Tsotsas, E.; Mellmann, J. (2016): Experimental and numerical study of the airflow distribution during mixed-flow grain drying. *Drying Technology* 34(5), pp. 595–607, <http://www.doi.org/10.1080/07373937.2015.1064946>
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2006): VDI-Wärmeatlas. Springer Verlag, Berlin
- Weigler, F.; Mellmann, J.; Scaar, H. (2012): Numerische Berechnung von Partikel- und Luftströmung in einem Dächerschachttrockner. *Landtechnik* 67(6), S. 429–431, <http://dx.doi.org/10.1515/lt.2012.322>
- Weigler, F.; Franke, G.; Scaar, H.; Mellmann, J. (2014): Experimente zum Partikelfluss an einer neu entwickelten Geometrie für Dächerschachttrockner. *Landtechnik* 69(1), S. 30–34, <http://dx.doi.org/10.1515/lt.2014.169>

## Autoren

**Dipl.-Ing. (FH) Holger Scaar** ist Doktorand, **Dr.-Ing. Fabian Weigler** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, **Dipl.-Ing. (FH) Georg Franke** 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: [hscaar@atb-potsdam.de](mailto:hscaar@atb-potsdam.de).

## Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF / PTKA) für die Förderung des KMU-innovativ Verbundprojekts GETRO (FKZ: 02PK2158) sowie dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL/ PTBLE) für die Förderung des DIP-Agrar Verbundprojekts InnoTrEnt (FKZ: 744170/1).