

Klaus Gottschalk, Potsdam-Bornim, und Chrispus Ndiema, Njoro/Kenia

Abkühlen von Kartoffelschüttungen in Kenia

Die numerische Strömungsmechanik und die Modellierung der Wärmeübergänge in einer Kartoffelschüttung sind geeignete Methoden, um Vorhersagen über die Temperaturverläufe in Kartoffellagern auch für Entwicklungsländer zu gewinnen. In Zusammenarbeit mit der Egerton Universität in Njoro, Kenia, entstand eine Modellrechnung zur Bestimmung der Abkühlzeiten von Kartoffelschüttungen unter den dortigen klimatischen und geometrischen Bedingungen. Diese Rechnungen sind Grundlage zur Verbesserung der Lagerbedingungen für den ländlichen Bereich in Kenia.

Dr.-Ing. Klaus Gottschalk ist wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, e-mail: kgottschalk@atb-potsdam.de
 Prof. Chrispus K. W. Ndiema, PhD, ist Leiter des Dept. of Industrial & Energy Engineering, Egerton University, P.O. Box 536, Njoro/Kenia

Schlüsselwörter

Kartoffellager, Numerische Strömungsmechanik, Entwicklungsländer

Keywords

Potato store, numeric fluid dynamics, developing countries

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 00515 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die Hauptursache für Nachernteverluste bei kleinbäuerlicher Produktion in Entwicklungsländern ist der Mangel an angepasst gestalteten Lagereinrichtungen. In den ländlichen Gegenden wird das Nacherntegut oftmals als Haufenschüttung provisorisch gelagert und in Kornspeichern oder auf den Böden der Häuser aufgeschüttet.

Für verderbliche Produkte wie Kartoffeln, Tomaten und manchmal Zwiebeln kann unkontrollierte Luftfeuchte und Temperatur zu rascher Fäuleentwicklung führen. Die Verluste muss der Bauer tragen. Er transportiert die Produkte zu den Marktzentren, wo die Preise unmittelbar von der Qualität abhängig sind. Es ist möglich, gängige Ingenieurwerkzeuge anzuwenden, um einfache und billige, aber dennoch wirkungsvolle Lagerformen zu entwickeln [4]. Die Zusammenhänge zwischen Luftbewegung und Temperaturverteilung in einer Kartoffelschüttung für ein traditionelles Kartoffellager, hier am Beispiel Kenia, werden untersucht. Da messtechnische Werkzeuge meist auch bei Forschungseinrichtungen in Entwicklungsländern fehlen oder mangelhaft sind, wird hier die Methode der numerischen Modellierung der Strömungsvorgänge und Wärmetransporte in Kartoffelschüttungen angewandt, um Vorhersagen über die Temperaturverläufe in den Schüttungen zu gewinnen und Empfehlungen erarbeiten zu können.

Methode

Als eine typische Anordnung für ein Haufenlager wird eine überdachte Schüttung (Kartoffelmiete) betrachtet, die auf dem Boden einer Lagerhütte, etwa vom Typ wie in Bild 1, aufgeschüttet ist. Die Hütte hat die Bodenabmessungen 3 m • 4 m und eine Höhe von 2,5 m. Die Schüttung ist in Obeliskform auf Lattenroste mit einem Bodenabstand von ~ 0,2 m aufgeschüttet. Die Grundfläche der Schüttung ist ~ 2 m • 3 m bei einer Höhe von ~ 1,2 m bis 1,5 m. Die Seitenwände der Lagerhütte besitzen Öffnungen mit ~ 1,6 m • 0,8 m für die Luftzufuhr und die Luftabfuhr, die per Hand geöffnet und geschlossen werden. Das Lager wird nur durch freie natürliche Lüftung belüftet. Für ein Lager der Egerton Universität in Njoro (Rift Valley Provinz von Kenia) ist die



Bild 1: Lagerhaus in Afrika; aus [1]

Fig. 1: Example of a store in Africa; from [1]

Einlagerungszeit von Mai bis Juli mit den Klimadaten einer gemäßigten Zone (Tab. 1).

Mit den Methoden der numerischen Strömungsmechanik wird die Durchströmung des Querschnitts der Schüttung berechnet (2-D-Rechnung). Der Schüttungsquerschnitt hat die Form eines gleichschenkeligen Dreiecks oder Trapezes. Die Schüttung ist von den Wänden und dem Dach umgeben, und die Zuluft- und Abluftöffnungen lassen eine Belüftung durch Außenwind zu. Zur Lösung der Strömungsverläufe in porösen Schüttungen wurde die Navier-Stokes-Gleichung der Strömungsmechanik [2] um den Term für den Strömungswiderstand erweitert, gemäß

$$dp/dx = a \cdot w^b$$

mit
 dp/dx = Druckgradient in der Schüttung längs Strömungsweg dx ; in $\text{Pa} \cdot \text{m}^{-1}$
 w = Luftgeschwindigkeit durch die Schüttung; in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
 a, b = numerische Konstanten, $a=620$,
 $b=1,64$ für mittlere Kartoffeldurchmesser = 6 cm

modelliert; nach experimentellen Ergebnissen aus [3].

Nach den Berechnungen der Geschwindigkeitsverteilungen in den Schüttungsquerschnitten wurde ein validiertes Modell der Stoff- und Wärmeübergänge durch eine Kartoffelschüttung angewandt, über das früher bereits berichtet wurde [5].

Tab. 1: Atmosphärische Daten im Mai-Juli in der Rift Valley Provinz, Kenia

Table 1: Atmospheric data during harvest period May-July in Rift Valley, Kenya

Temperatur Nacht	4...11	°C
Temperatur Tag	15...22	°C
Luftdruck	-0,96	bar
Rel. Luftfeuchte	55...65	%
Windgeschwindigkeit	-0,05...1,0	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

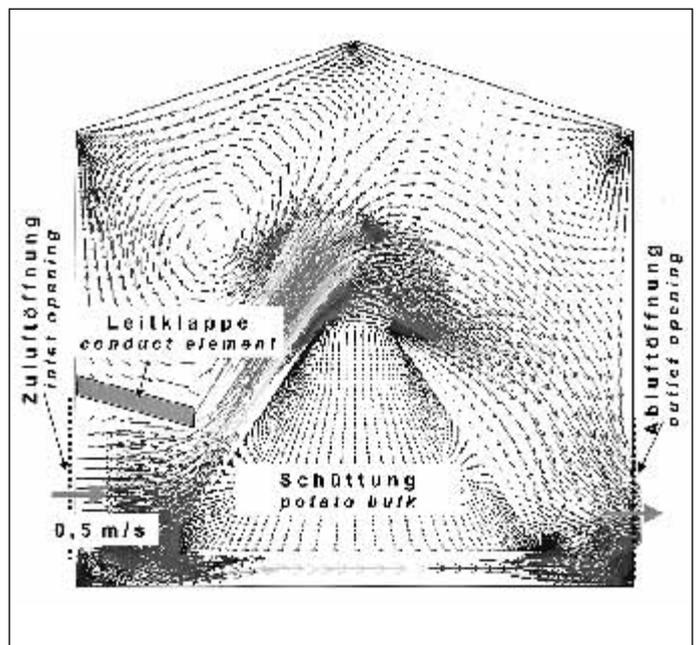
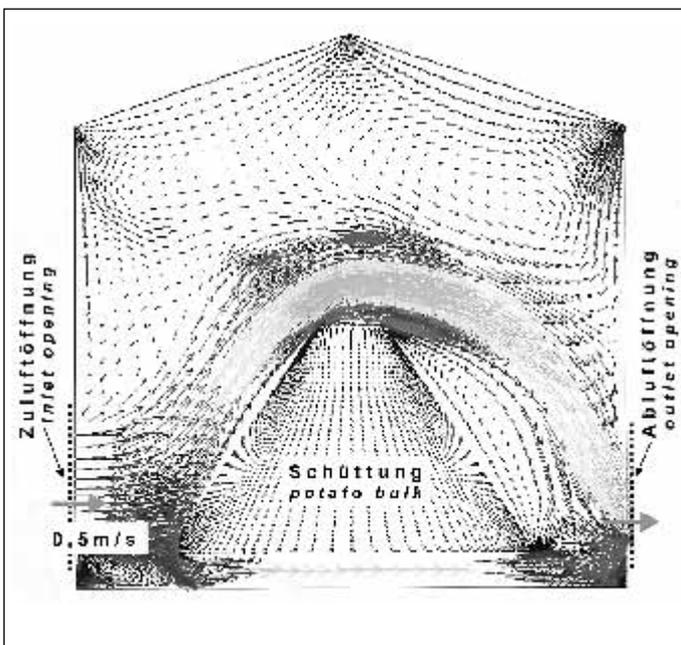


Bild 2: Luftgeschwindigkeitsfeld im Lager; Zuluft und Abluft unten

Bild 3: Luftgeschwindigkeitsfeld im Lager; mit Leitklappe über Zuluftluke

Fig. 2: Air velocity characteristic field in store; air inlet and outlet at bottom

Fig. 3: Air velocity field in the store; with air guiding flap above air inlet

Es wurden die Varianten (a) Zuluftluke luvseitig unten, (b) Zuluftluke luvseitig unten mit Leitklappe und (c) Zuluftluke luvseitig oben berechnet. Bei allen Varianten ist die Abluftluke leeseitig unten und die Zuluftgeschwindigkeit $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Ergebnisse

Bei allen Varianten stellte sich eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit durch die Schüttung nahezu übereinstimmend mit $0,018 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ein. In der Schüttung als poröses Material bildet sich das Strömungsgeschwindigkeitsprofil weitgehend gleichmäßig aus. Lediglich die Strömungsverläufe durch die Schüttungen sind unterschiedlich, und zwar:

- (a) besonders im Kernbereich der Schüttung schräg von der Zuluftseite unten her zur Abluftseite nach oben hin (Bild 2),
- (b) deutlich ausgeprägte, weitgehend gleichmäßige Aufwärtsströmung im Kernbereich der Schüttung (Bild 3),
- (c) im Wesentlichen gleichmäßige waagerechte Strömung in der gesamten Schüttung von der Zuluftseite zur Abluftseite.

Dabei bestimmen die Druckunterschiede der äußeren Strömung um die Schüttung maßgeblich die Strömungsverläufe in der Schüttung.

Die Temperaturverteilungen in den Schüttungen für waagerechte Durchströmung, untere und obere Schicht (1) sowie senkrechte Durchströmung Mitte und links/rechts (2) wurden berechnet (Bild 4), um für die verschiedenen Lüftungsvarianten Abschätzungen zur Abkühlzeit bestimmen zu können. Als Abkühlzeit ist der Zeitpunkt beim Erreichen der Kühltemperatur („Zieltemperatur“) für die jeweilige Schicht definiert.

Abkühlzeiten

Bei der Belüftungsvariante (2), das entspricht der Variante mit Leitelement über der Zuluftluke (b), sind die Unterschiede in den mittleren Abkühlungsgeschwindigkeiten in den verschiedenen Schichten geringer als bei der Variante (1), entsprechend (c). Außerdem sind die Abkühlzeiten bei der Variante (2), entsprechend (b), kürzer. Dies lässt den Schluss zu, dass der Einbau eines

Leitelements über der Einlassluke die Abkühlzeit verkürzen kann (Tab. 2 und Tab. 3).

Fazit

Die Ergebnisse gelten nur für konstante Zuluft-Zustände. In der Praxis muss kältere Außenluft vornehmlich in den Nachtzeiten zur Abkühlung genutzt werden. Während der frühen Morgenstunden ist die relative Luftfeuchte noch hoch, wodurch der Schwund bei den Kartoffeln gemindert wird. Rechtzeitiges Schließen der Luken zum Vormittag verhindert Wiedererwärmung und Kondenswasserbildung. Für eine gleichmäßige Durchströmung müssen die Kartoffeln sorgfältig von Erde, Steinen und Pflanzenresten gereinigt werden. Nur abgetrocknete und gesunde Kartoffeln dürfen eingelagert werden. Die Strömungsberechnungen zeigen, dass durch Einbau einer Leitklappe über der Zuluftluke die Schüttung gleichmäßig von unten nach oben durchlüftet wird, und dass dabei die Abkühlzeiten verkürzt und in den Schichten besser einander angenähert werden, als es bei der herkömmlichen Belüftungsanordnung möglich ist. Dies funktioniert allerdings nur so, wenn die Schüttung einen Bodenabstand hat, wie im Modell gerechnet.

Variante	Luftweglänge	Abkühlzeit			mittlere Abkühlgeschw. (Median)
		Einströmseite	Mitte	Ausströmseite	
(1) unten	2 m	15 h	48 h	95 h	- 0,28 K/h
(1) oben	0,4 m	13 h	25 h	32 h	- 0,82 K/h
(2) Mitte	1,2 m	20 h	40 h	68 h	- 0,38 K/h
(2) links/rechts	0,6 m	14 h	27 h	40 h	- 0,57 K/h

Tab. 2: Abkühlungszeit nach Abkühlung von 22 °C auf 11 °C

Table 2: Cooling time after cooling from 22 °C downto 11 °C

Variante	Luftweglänge	Abkühlzeit			mittlere Abkühlgeschw. (Median)
		Einströmseite	Mitte	Ausströmseite	
(1) unten	2 m	10 h	40 h	65 h	- 0,16 K/h
(1) oben	0,4 m	8 h	15 h	21 h	- 0,45 K/h
(2) Mitte	1,2 m	10 h	27 h	45 h	- 0,22 K/h
(2) links/rechts	0,6 m	9 h	19 h	28 h	- 0,32 K/h

Tab. 3: Abkühlungszeit nach Abkühlung von 15 °C auf 10 °C

Table 3: Cooling time after cooling from 15 °C downto 10 °C

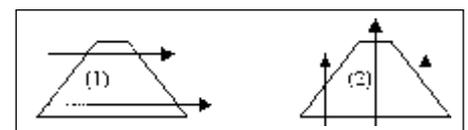


Bild 4: Berechnungsvarianten zur Durchströmung der Schüttung: (1) waagrecht, unten/oben; (2) senkrecht, Mitte/links/rechts

Fig. 4: Computing variants of bulks ventilated: (1) horizontal, bottom/top; (2) vertical, center/left/right