

Möglichkeiten und Grenzen der freien Lüftung in Behälterlagern für Pflanzkartoffeln¹⁾

Dipl.-Ing. Annlies Wilke, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Tierproduktion

1. Problemstellung

Eine vorrangige Aufgabe in der Pflanzkartoffellagerung ist die energiesparende Belüftung bei Einhaltung der geforderten Klimaparameter als Voraussetzung für die Bewahrung der Gutqualität bis zum Pflanztermin. Mit der-Einführung der freien Lüftung in Behälterlagerhäusern ergab sich die Möglichkeit, die Zwangsluft zu reduzieren und damit erhebliche Energiemengen einzusparen.

Besondere Bedeutung kommt der von Schierhorn vorgeschlagenen und in beachtlichem Umfang in die Praxis eingeführten freien Konvektionslüftung (FKL) zu, bei der die Lagerung völlig ohne Lüfter erfolgt. Dabei ist jedoch noch ein gewisses Risiko vorhanden, weil bei ungünstigen Witterungsverhältnissen keine Sicherung des Luftwechsels in Form einer Zwangslüftung existiert. Eine nähere Analyse zeigte, daß das nicht ohne Nachteile ist, wie aus folgenden Ausführungen hervorgeht.

2. Analyse der Luftraten bei thermischem Auftrieb und Wind

Die Luftströmung durch Luken, die in Traufhöhe beidseitig symmetrisch im Gebäude an-

geordnet sind, wird zum einen durch Temperaturunterschiede zwischen Außen- und Raumluft und zum anderen durch Windwirkungen verursacht.

2.1. Thermischer Auftrieb

Wird zunächst von Strömungsdruckverlusten abgesehen, so ergibt sich durch Gleichsetzen des Auftriebsdrucks und des dynamischen Drucks folgender Zusammenhang:

$$w_{LuA} = \sqrt{2g z_{LuA} \frac{\Delta T_{ia}}{T_a}}; \quad (1)$$

w_{LuA} Luftgeschwindigkeit an den Luken infolge des Auftriebs ohne Strömungsverluste

z_{LuA} nutzbare Auftriebshöhe, d. h. halbe Lukenhöhe (0,30 m)

ΔT_{ia} Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft.

Entsprechend der Bernoulli-Gleichung unter der Voraussetzung, daß $p_1 \approx p_2$ und $z_1 \approx z_2$ und daß Strömungsverluste sowohl am Eintritt als auch am Austritt der Luken auftreten, kann eine verlustbehaftete Geschwindigkeit nach Gl. (2) berechnet werden:

$$w_{LuA\text{verl}} = \sqrt{\frac{w_{LuA}^2}{1 + (\xi_E + \xi_A)}}; \quad (2)$$

Die für ein 12-kt-Lagerhaus mit 24 Luken und einer einzelnen Lukenfläche von $A_{Lu} = 3,9 \text{ m} \times 0,6 \text{ m}$ interessierende Luftrate in $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ unter Verwendung von Gl. (2) mit $\xi_E = 0,5$ und $\xi_A = 1,0$ ergibt sich zu:

$$\dot{V}_{LuA} = 13 \sqrt{\frac{\Delta T_{ia}}{T_a}}; \quad (3)$$

Dabei wird angenommen, daß die kältere Außenluft bei Windstille durch alle Luken beidseitig des Lagerhauses einströmt und je-

weils nur die untere Hälfte der Lukenfläche ausfüllt bzw. die wärmere ausströmende Luft den oberen Lukenbereich beansprucht.

Da es sich als vorteilhaft erwiesen hat, bei entsprechendem Außenklima die Tore mit in die freie Lüftung einzubeziehen, sind in Tafel 1 Luftraten angegeben (in Klammern stehende Werte), die sich bei zwei $4,20 \text{ m} \times 3,90 \text{ m}$ großen geöffneten Toren und geöffneten Luken mit einer wirksamen Auftriebshöhe von $3,70 \text{ m}$ nach Gl. (4) ergeben:

$$\dot{V}_{TA} = 53 \sqrt{\frac{\Delta T_{ia}}{T_a}}; \quad (4)$$

Aus Tafel 1 können folgende Konsequenzen abgeleitet werden:

- Die Luftraten bei geschlossenen Toren tragen selbst bei $\Delta T_{ia} = 10 \text{ K}$ nur geringfügig zur geforderten Mindestluftrate von $40 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ bei (rd. 4 % bei $\Delta T_{ia} = 5 \text{ K}$).
- Bei geeigneten Außenluftzuständen können bei geöffneten Toren gerade während der Abtrocknungsphase spürbare positive Effekte erzielt werden ($\dot{V}_{TA} \approx 4 \dot{V}_{LuA}$, d. h. rd. 18 % der geforderten Mindestluftrate bei $\Delta T_{ia} = 5 \text{ K}$).
- Die Höhe der Außenlufttemperatur hat gegenüber der Temperaturdifferenz ΔT_{ia} nur untergeordnete Bedeutung.

2.2. Wind

Die durch Wind verursachten Druckdifferenzen am Gebäude bewirken letztlich entscheidend den Luftstrom an den Luken. Die Höhe der jeweiligen Druckdifferenz wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Anströmrichtung
- Ort des Anströmpunktes am Gebäude
- Windgeschwindigkeit.

Berücksichtigt werden die ersten beiden Faktoren durch entsprechende Druckkoeffizienten, die im wesentlichen Ergebnisse zahlreicher Modell- und Praxisversuche zu Umströmungsproblemen sind (z. B. [1]).

Wie aus Gl. (5) hervorgeht, wird die Höhe der wirksamen Druckdifferenz neben der Windgeschwindigkeit vor allem auch durch die Differenz der Druckkoeffizienten zwischen Luv und Lee bestimmt:

$$\Delta p_w = c_{geb} \frac{w^2 \rho}{2}; \quad (5)$$

c_{geb} Differenz der Druckkoeffizienten für

1) Die Ergebnisse entstanden in der Zusammenarbeit zwischen der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg und dem Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim

Fortsetzung von Seite 67

Laufsteg zu installieren und mit Spannsperren zu versorgen. Diese Taster entfallen nach der Inbetriebnahme des Automaten.

5. Zusammenfassung

Die am Beispiel der 10-kt-ALV-Anlage für Speisekartoffeln der LPG(P) Plate dargestellte Lösung für die Mechanisierung der Lüftungskappensteuerung ist prinzipiell für alle 10-kt-Speisekartoffelsektionslager anwendbar.

Für die Steuerung der oftmals schweren Holzregelklappen in älteren Kartoffellagerhäusern wurde nach gleichem Funktionsprinzip vom VEB Ingenieurbüro OGS Groß Lüsewitz eine gesonderte standortanpassungsfähige Lösung erarbeitet. Der VEB Ingenieurbüro OGS Groß Lüsewitz ist bereit, im Rahmen der Rekonstruktion der Lüftungstechnik und in Vorbereitung einer Automatisierung der Lüftung in Speisekartoffellagerhäusern Zuarbeit zu leisten. A 4739

Tafel 1. Luftraten \dot{V}_{LuA} und \dot{V}_{TA} (in Klammern stehende Werte) in $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur t_a und der Temperaturdifferenz ΔT_{ia} .

| t_a | $\Delta T_{ia} = 1 \text{ K}$ | 2 K | 10 K |
|-------|-------------------------------|----------------|-----------------|
| 15°C | 0,76 (3,12) | 1,71 (6,98) | 2,24 (9,87) |
| 0°C | 0,78 (3,21) | 1,75 (7,17) | 2,48 (10,14) |

Tafel 2. Mittlere resultierende Luftrate infolge Windbewegung bei unterschiedlichen Anströmwinkeln

| | Windrichtung | NNO-SSW | NO-SW | ONO-WSW | O-W |
|---|--------------|---------|-------|---------|-------|
| | N-S | | | | |
| Anströmwinkel | 0° | 22,5° | 45° | 67,5° | 90° |
| prozentuale Zeitannteile in % | 9,68 | 17,71 | 17,11 | 35,99 | 19,51 |
| mittlere Windgeschwindigkeit w_0 in m/s | 4,11 | 4,14 | 4,33 | 4,72 | 5,14 |
| c_{geb} | 0 | 0,60 | 0,86 | 0,90 | 0,92 |
| w_{LuW} in m/s | 0 | 2,92 | 3,65 | 4,07 | 4,49 |
| \dot{V}_{LuW} in $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ | 0 | 15,55 | 19,48 | 22,90 | 23,91 |

$$\dot{V}_{LuW} = 19 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$$

die Gebäudeseiten, zwischen denen die Druckkoeffizienten ermittelt werden sollen.

Da die Werte c_{geb} bei verschiedenen Anströmrichtungen merklich kleinere Differenzen als bei der alleinigen Betrachtung der luvseitigen Druckkoeffizienten aufweisen, hat die Anströmrichtung auf die Höhe des windabhängigen Lukenstromes einen geringeren Einfluß, als oft angenommen wird.

Die nach Gl. (5) berechnete Druckdifferenz kann bei geöffneten Luken einem dynamischen Druck gleichgesetzt werden, dessen Geschwindigkeit einer verlustlosen Lukeengeschwindigkeit entspricht:

$$w_{LuW} = \sqrt{c_{geb}} h_k w_0; \quad (6)$$

w_{LuW} Luftgeschwindigkeit an den Luken ohne Strömungsdruckverluste in Lukenhöhe (= 5,7 m) infolge Windwirkung

w_0 Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe
 h_k Höhenkorrekturfaktor.

Die analog zu Gl. (2) ermittelte verlustbelastete Luftgeschwindigkeit an den Luken, multipliziert mit einer Strömungsfläche von 12 Lukenflächen, ergibt die Lufrate infolge von Wind nach Gl. (7):

$$\dot{V}_{LuW} = 4,85 \sqrt{c_{geb}} w_0; \quad (7)$$

$$h_k = 0,91.$$

In Tafel 2 sind sowohl die mittleren resultierenden Lufraten als auch die gesamte mittlere resultierende Lufrate in Abhängigkeit vom Anströmwinkel für die Zeit von September bis Ende November zusammengestellt, die sich aus einer witterungsstatistischen Analyse auf der Grundlage eines entsprechenden Rechnerprogramms [2] ergaben. Wie aus Tafel 2 hervorgeht, kann mit einer mittleren resultierenden Lufrate \bar{V}_{LuW} von etwa $19 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ gerechnet werden, d. h., rd. 50 % der geforderten Mindestlufrate werden allein durch Windwirkung erreicht.

3. Schlußfolgerungen

Die Analyse der freien Lüftung in Pflanzkartoffellagern führt zu folgenden Aussagen:

– Der Luftstrom an den Luken wird bei $\Delta T_{ib} = 5 \text{ K}$ und geschlossenen Toren nur zu etwa 8 % durch thermischen Auftrieb, jedoch zu etwa 92 % durch Windwirkung verursacht. Werden zusätzlich die Tore geöffnet, so verschiebt sich das Verhältnis Auftrieb zu Windwirkung auf 27 % zu 73 % (rd. 1:3).

– Die insgesamt zu erwartende Lufrate wird in wenigen Fällen 50 % der geforderten Mindestlufrate deutlich überschreiten, d. h. mehr als $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ betragen, zumal entsprechend einer witterungsstatistischen Analyse die Nutzung der Außenluft

in den ersten beiden Lagerphasen nur zu etwa 60 bis maximal 70 % zulässig ist.

– Ohne die Installation einer Zwangslüftung neben der freien Lüftung sind die nach Standard TGL 21240/04 vorgegebenen Lagerklimaparameter nicht durchweg einhaltbar. Modellrechnungen [3] haben ergeben, daß zur Abführung der infolge Eigenerwärmung produzierten Wärmemenge der Kartoffeln eine Mindestlufrate von $25 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{t})$ notwendig ist. Sonst ist eine Abkühlung nicht mehr möglich.

Diese Aussagen bestätigen bereits vorliegende Erkenntnisse der Praxis, daß zum einen die Anwendung der freien Lüftung eine beachtliche Reduzierung des notwendigen Energieaufwands für Belüftungszwecke auf unter 50 % ermöglicht und zum anderen eine zusätzliche Zwangslüftung zur Gewährleistung der geforderten Klimaparameter im Lager benötigt wird.

Literatur

- [1] Dietze, L.: Heizlastberechnung. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1977.
- [2] Baganz, K.: Programm „KLAN“ (Klimadatenanalyse). Forschungszentrum für Mechanisierung Schlieben/Bornim, 1979.
- [3] Maitry, W.: Persönliche Mitteilung 1986.

A 4740

Teilautomatisierte Belüftung einer 2,5-kt-Zwiebellagerhalle

Dr.-Ing. W. Günzel, KDT/J. Gemballa, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR
Staatswiss. J. Clemens, LPG(P) Elxleben, Bezirk Erfurt

1. Problemstellung

In der LPG(P) Elxleben, Bezirk Erfurt, wurde im Zeitraum 1975/77 eine Zwiebellagerhalle für lose Schüttung mit einer Lagerkapazität von 2,5 kt errichtet. Bei einer Gebäudegröße von $21,80 \text{ m} \times 91,10 \text{ m}$ beträgt die Lagerfläche der Halle $18,30 \text{ m} \times 83,10 \text{ m}$. Die Belüftung erfolgt über 28 Unterflurkanäle, die im Achsabstand von 3,0 m quer zur Gebäudelängsachse eingebaut wurden. An der westlichen Längswand erstreckt sich der lüftungstechnische Gang, in dem in Verlängerung der Unterflurkanäle die Lüftungssäulen angeordnet sind. Die wichtigsten Bauelemente sind Regelklappen, Wärmeübertrager, verbindende Kanalteile und die 28 Lüfter für Zuluft LANN 800 mit einer Motorleistung von jeweils 7,5 kW. Jede Lüftungssäule bildet mit dem zugehörigen Unterflurkanal eine Lüftungseinheit, über die das Lüften mit Frisch-, Misch- und Umluft sowie bei Inbetriebnahme der Wärmeübertrager auch mit Warmluft möglich ist. An der gegenüberliegenden Längswand sind gleichfalls 28 Lüfter für Abluft LANW 800 mit je 1,2 kW installiert.

Bis zur Lagerungsperiode 1983/84 wurde die Lüftungsanlage der Lagerhalle von Hand be-

dient. Die konzeptionelle Lösung für eine teilautomatisierte Belüftung wurde 1984 erarbeitet, der Einbau und die Inbetriebnahme erfolgten im Herbst des gleichen Jahres. Mit dieser Belüftung sollten folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Erleichtern der Arbeitsbedingungen für den Lagerwart
- Ausschließen von Fehlbelüftungen
- Gewährleisten eines optimalen Lagerklimas
- Einsparen von Elektroenergie durch geringere Lüfterlaufzeiten.

2. Lüftungstechnische Konzeption

Die Lagerhalle mit den insgesamt 28 Lüftungseinheiten wurde schaltungsseitig in 4 Lüftungsgruppen mit je 6 Lüftungseinheiten unterteilt (Bild 1). Wegen fehlender Stelltechnik konnten die Außenregelklappen nicht mit in die teilautomatisierte Lüftung einbezogen werden, desgleichen wurden aus lagerungstechnischen Gründen 4 Lüftungseinheiten ausgespart.

Im Bereich einer Lüftungsgruppe lagern bei einer mittleren Schütthöhe von 4,0 m ungefähr 600 t Speisewiebeln. Eine Temperaturüberwachung des Lagerguts der gesamten

Halle wird durch 2 handumschaltbare Anzeigergeräte Typ 1408 (Hersteller: VEB Feutron Greiz) mit je 23 Meßstellen und flexiblen Meßfühlern Typ 1009 vorgenommen.

3. Bauelemente

Das Steuergerät (Bild 1) besteht aus folgenden Bauelementen:

- Stahlblechgehäuse
 $600 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ für Wandmontage mit schwenkbarer innerer Montagewand
- Re-Regler (Hersteller: VEB Meßgerätewerk „Erich Weinert“ Magdeburg), Meßbereich von -10°C bis 30°C ; Bedien- und Signalelemente sind in der Gehäusetur montiert
- schwenkbare innere Montagewand; darauf montiert sind Sicherungen für das Steuergerät, die Meßstromversorgung für den Re-Regler, Vorrelais zur Entlastung der Schaltkontakte des Re-Reglers und Zeitrelais RZW zur Staffellung der Anlaufzeiten der einzelnen Lüftergruppen
- Frostschutzthermostat TW 605.52 (Hersteller: VEB Mertik Quedlinburg).

Aufgrund der neuesten Geräteentwicklung des VEB MEW Magdeburg kann heute an-