

Rationelle Energieanwendung bei der Belüftung von Kartoffel-Behälterlagern

Dr.-Ing. H.-J. Hegner, KDT/Dr. sc. techn. W. Maltry, KDT

Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

Dr. agr. K. Bittner, Institut für Kartoffelforschung Groß Lüsewitz der AdL der DDR

Dipl.-Agr.-Ing. E. Knobbe, VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg

Dipl.-Agr.-Ing. R. Schopp, LPG Pflanzenproduktion Cobbelsdorf, Bezirk Halle

Im Verfahrensabschnitt „Lagerung“ kommt der sachgerecht vorgenommenen Belüftung als wichtigster qualitätserhaltender Maßnahme besondere Bedeutung zu. Wegen der hohen Leistungsanspruchnahme an elektrischer Energie — wenn alle Lüfter laufen, beträgt die elektrische Leistungsaufnahme in einer ALV-Anlage weit über 100 kW — kommt es bei den Entscheidungen über Lüftungsmaßnahmen und bei der Gestaltung von Lüftungseinrichtungen besonders auf den rationalen und sparsamen Einsatz von Energie an.

Schwerpunkte der hierzu durchgeführten kollektiven Forschungs- und Entwicklungsarbeit, an der sich mehrere Institutionen und Einrichtungen, darunter die LPG(P) Cobbelsdorf, Bezirk Halle, beteiligten, waren:

— Weiter- und Neuentwicklung von Lüftungssystemen, mit denen eine hohe Gleichmäßigkeit der Lagertemperatur und der relativen Luftfeuchte im gesamten jeweiligen Lagerraum erreicht werden kann

— optimale Führung des Lüftungsbetriebs mit Hilfe einer technisch und energetisch günstig ausgelegten Lüftungsanlage bei effektiver Nutzung der hierfür geeigneten Außenluftzustände.

Aus den Praxisuntersuchungen der letzten Jahre, vor allem der Lagerperiode 1979/80, wurden Ergebnisse darüber gewonnen, daß eine einwandfreie Lüftung bei wesentlicher Senkung des Energieaufwands möglich ist.

Anforderungen an das Lüftungssystem

Grundlage für die Eignung eines Lüftungssystems, für die Dimensionierung seiner Einzelteile und für die Bewirtschaftung sind die vom biologischen Objekt „Kartoffel“ her abgeleiteten Anforderungen an das Lagerklima, die für Pflanzkartoffeln in der DDR nach Standard TGL 21240/04 [1] standardisiert sind. Zu diesen Anforderungen gehören:

— Richtwerte über Dauer, Temperatur und weitere Klimaparameter während der verschiedenen Lagerphasen (Wundheil-, Abkühl-, Hauptlagerphase, Vorbereitung zur Auslagerung)

— Zielstellungen bezüglich rascher Abtrocknung, Aufreißen des Haftwasserfilms und zugehöriger Zeit für die Wundheilphase.

Hieraus läßt sich ableiten, daß bei der Lagerung von Kartoffeln Schwitzschichten zu vermeiden sind, daß durch die Wirkung der Lüftung keine Schwitzschichten entstehen dürfen und daß mit dem Lüftungssystem die durch Fehlbelüftung bei ungeeignetem Außenluftzustand entstandenen Schwitzschichten wieder abgebaut werden können. Das erfordert Lüftungssysteme, mit denen sachgerecht Umluft- und Mischluftbetrieb verwirklicht werden können.

Besonderheiten des Wurflüftungssystems

Seit etwa zwei Jahren werden Behälterlager-

Tafel 1. Vergleich von Lüftungssystemen bezüglich Temperatur sowie Bildung von Feuchtebeschlag und Schwitzschichten

Lüftungsart: Belüftungseinheit:	Wurflüftung 4		freie Lüftung 5		8		kombinierte Lüftung 7	
	Temp. °C	(F + S)	Temp. °C	(F + S)	Temp. °C	(F + S)	Temp. °C	(F + S)
Monat								
Oktober	9,8		9,6	(3)	9,1	(2)	8,6	(1)
November	4,7	(1)	4,2	(3)	4,3	(3)	4,2	
Dezember	5,8		5,2	(2)	5,1	(2)	4,6	
Januar	3,7		2,7	(D)	2,1	(D)	1,7	(D)
Februar	4,1		3,9		3,3	(D)	2,9	

Feuchtebeschlag und Schwitzschichten (F + S):

(1) leichter kurzzeitiger Feuchtebeschlag in der obersten Kartoffelschicht

(2) mehrfach kurzzeitige Schwitzschicht in den obersten (1. bis 3.) Kartoffelschichten

(3) starke Schwitzschichten über längere Zeiten

(D) Feuchtebeschlag an der Decke

Angebotsprojekte des VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg mit dem Wurflüftungssystem ausgestattet, das gegenüber der bisher in den 10-, 11- und 12-kt-Anlagen angewendeten Schlitzwandlüftung eine bessere Erfüllung der nachfolgend aufgeführten volkswirtschaftlichen Forderungen gewährleistet:

— Einhalten der Forderungen und Richtwerte des Standards TGL 21240/04 [1]

— sichere Eignung bei Anwendung in Lager-räumen bis zu einer Spannweite von 24 m

— Reduzieren von Falschlufanteilen auf ein Mindestmaß

— Anwendbarkeit für alle vorhandenen und gegenwärtig in Entwicklung befindlichen Behältertypen

— Einsatz ausschließlich standardisierter luft-technischer Bauteile und Lüfter aus der Vorzugsbaureihe des Lüftungstechnischen Anlagenbaus sowie Montage durch den Hersteller

— Verringern des spezifischen Stahl- und Blechsaufwands gegenüber der Schlitzwandlüftung auf unter 60 %

— Senken des spezifischen Investitionsaufwands auf unter 80 %.

Der spezifische Energieaufwand konnte zunächst gegenüber der Schlitzwandlüftung nicht gesenkt werden. Er beträgt bei reiner Wurflüftung rd. 15 kW/kt.

Die Wurflüftung hat folgende charakteristische Eigenschaften:

— Sie ist ein Gleichdruckbelüftungssystem mit horizontaler Luftführung.

— Luftzuführung und -abführung erfolgen ausschließlich über dem Behälterstapel.

— Der aus dem Zuluftkanal austretende Luftstrahl hat eine so große Geschwindigkeit, daß der dadurch erzeugte Impulsstrom eine Raumwalze im gesamten Lagerraum erzeugt, wodurch für alle Bereiche des Behälterstapels und für die gesamte La-

gedauer günstige klimatische Bedingungen geschaffen werden können.

— Der von den Lüftern gelieferte Luftstrom entspricht einer Lufrate von rd. 40 m³/t · h. Der im Lagerraum mit der Raumströmung umgewälzte Luftstrom ist jedoch mehr als doppelt so groß.

— Durch die Wurflüftung werden die oberen Teile des Behälterstapels während der Zeit der aktiven Belüftung bevorzugt abgekühlt. Das hat zur Folge, daß im nachfolgenden Zustand der Lüfterruhe, der wesentlich längere Zeit umfaßt als der vorangegangene Zustand der Belüftung, der aus der Wärmeabgabe der Kartoffeln resultierenden Auftriebsströmung ein Temperaturpotential entgegengesetzt wird, das erfahrungsgemäß zu einer Vergleichmäßigung der Temperaturen im Behälterstapel führt.

Das Prinzip der Wurflüftung wurde als ausreichend risikofreier Entwicklungsstand der technischen Belüftung von Behälterlagern in Abstimmung mit dem Institut für Kartoffelforschung Groß Lüsewitz und dem Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim durch das Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg in die Wiederverwendungsprojekte „Pflanzkartoffel-Behälterlager“ aufgenommen.

Energieeinsparung durch Einbeziehung der „freien Lüftung“

Unter den Witterungsbedingungen der letzten Jahre hat sich in mehreren kleineren Lagerhäusern vor allem durch die Arbeiten Schierhorns [2] eine Überlagerung auch ohne jede technische Belüftung als möglich erwiesen. Deshalb wurde im Rahmen der sozialistischen Arbeitsgemeinschaft „Lüftung und Klimatisierung in Pflanzkartoffel-ALV-Anlagen“ ein spezielles Versuchsprogramm beschlossen, um die Möglichkeiten der Einbeziehung der

Ort	Wurflüftung			freie Lüftung		
	\bar{x} %	x_{\min} %	x_{\max} %	\bar{x} %	x_{\min} %	x_{\max} %
zwischen 1. und 2. Behälter:	92	87	95	97	91	100
zwischen 4. und 5. Behälter:	91	88	94	100	98	100
unter Oberkante des 5. Behälters:	91	87	95	99	96	100

Tafel 3. Lüfterlaufzeiten und Lagerdauer

Objekt	Lüfterlaufzeit		Lagerdauer d
	gesamt h	im Mittel je Tag h/d	
Wurflüftung Cobbelsdorf Versuchssektion	776 ^{b)}	4,3	181
Wurflüftung Ruppendorf ALV-Anlage	472...638	2,7...3,6	178
komb. Lüftung Cobbelsdorf Versuchssektion	274	1,6	170

b) zusätzlich wurden 100h für Probetrieb des Lüftungsautomaten und 100h für Umluftbetrieb wegen nasser Decke aufgewendet

energiesparenden freien Lüftung ohne Beeinträchtigung der Sicherheit bezüglich des Überlagerungsergebnisses schnellstmöglich zu klären und für die Praxis nutzbar zu machen. Hierzu wurden Praxismessungen zur freien Lüftung, zur Wurflüftung und zur Kombination dieser beiden Lüftungsarten vorbereitet und durchgeführt.

Die freie Lüftung ist durch folgende Besonderheiten gekennzeichnet: Auf beiden Seiten des Lager-raumes sind bauseitig in Deckennähe verschließbare Luken angeordnet. Eine Unterteilung in mehrere Lüftungstechnische Einheiten ist in Lagerhäusern mit ausschließlich freier Lüftung nicht vorgesehen.

Bei etwa quer zur Gebäudeachse in größerer Stärke strömendem Wind erfolgt der Luftaustausch im Behälterlager ähnlich wie bei der Wurflüftung, vor allem dann, wenn die Außenlufttemperatur niedriger als die Kartoffeltemperatur ist. Allerdings führen die stets schwankenden Windgeschwindigkeiten und möglicherweise wechselnden Windrichtungen zu einem zeitlich veränderlichen Impulsstrom mit instabilen Raumströmungen.

Bei geringen äußeren Geschwindigkeiten und bei ungünstigen Windrichtungen werden der Luftaustausch und der Feuchteabtransport vorwiegend über einen temperaturabhängigen Auftriebsmechanismus bewerkstelligt:

— Ist die durch die Luken eintretende Luft kälter als die Raumluft, so „fällt“ sie bis zum Boden des Lager-raumes und bewirkt eine Abkühlung der Kartoffeln von unten nach oben.

— Ist die durch die Luken eintretende Luft wärmer als die Raumluft, so erfolgt im wesentlichen ein horizontales Durchströmen des Freiraumes oberhalb der Behälter. Von den Kartoffeln wird dabei nur die oberste Schicht merklich erwärmt.

Dieser Strömungsmechanismus ist im Tages-

und Nachtverlauf mit einer thermischen „Ventil“-Wirkung vergleichbar:

- Kühlere Außenluft kühlt die Kartoffeln.
- Wärmere Außenluft erhöht die Temperatur der Kartoffeln nur unwesentlich, führt aber dennoch Feuchtigkeit und Wärme ab.

Die Kombination von Wurflüftung und freier Lüftung läßt bei weiterhin ausreichender Sicherheit bezüglich des Überlagerungsergebnisses eine beachtliche Energieeinsparung erwarten, wenn während der dafür geeigneten Stunden, besonders während der Abkühlperiode und z. T. während der Dauerlagerungsperiode, bei geöffneten Luken die Lüfter ausgeschaltet werden.

Untersuchungsergebnisse

Vergleich bezüglich der Abtrocknungsdauer

Der Vergleich der Lüftungssysteme bezüglich der Abtrocknungsdauer bringt folgende Ergebnisse:

- Wurflüftung 2...3 Tage
- freie Lüftung 6...7 Tage
- kombinierte Lüftung 2...4 Tage.

Temperatur, Bildung von Feuchtebeschlag und Schwitzschichten

Die Ergebnisse des Vergleichs der drei Lüftungssysteme sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Raumluftfeuchte zwischen den Behältern

In Tafel 2 ist der Vergleich der Raumluftfeuchte zusammengestellt.

Man erkennt, daß bei reiner freier Lüftung höhere Feuchtigkeit im Raum herrscht und daß das die Ursache für den häufigeren Feuchtebeschlag und die Ausbildung von Schwitzschichten ist, denn das Funktionsprinzip der freien Lüftung besteht darin, daß die in den Behältern entstehenden Wärme- und Stofflasten durch thermisch verursachte Auftriebskräfte in den Raum über den Behälterstapel transportiert und von hier entweder durch Windwirkung oder durch höheres Wasseraufnahmevermögen der Außenluft in den Mittagsstunden abgeführt werden. Bei relativ schwachem Wind ist der Temperaturwechsel der Außenluft während des Tagesverlaufs die Voraussetzung für den Erfolg der freien Lüftung. Wird der normale Ablauf dadurch gestört, daß mehrere Tage hintereinander die Außenlufttemperatur ständig unter der Stapeltemperatur bleibt und zudem wegen ungünstiger Windbedingungen keine Abführung der Feuchtelasten möglich ist, so bilden sich in den oberen Behältern zunehmend Schwitzschichten aus. Das ist besonders in den Herbstmonaten der Fall, solange die Stoffwechselvorgänge in den Knollen noch recht lebhaft ablaufen. Mit zunehmender Annäherung an die optimalen Lagertemperaturen wird die Feuchtigkeitsabgabe der Knollen geringer, und die Schwitzschichten entstehen

Tafel 2
Vergleich der Raumluftfeuchte zwischen den Behältern

seltener. Andererseits ist deren Abbau in den Monaten Januar und Februar erfahrungsgemäß schwieriger, weil dann die Witterungsbedingungen normalerweise ungünstiger sind.

Keimentwicklung im Frühjahr

Infolge des günstigen kühlen Wetterverlaufs im Frühjahr 1980 war bei allen untersuchten Varianten nur eine geringere Keimentwicklung ohne kennzeichnende Unterschiede zu beobachten.

Lüfterlaufzeiten und Energiebedarf

Tafel 3 enthält die Lüfterlaufzeiten einschließlich der für die Abtrocknung der zuletzt eingestapelten Kartoffeln, nicht aber die Lüfterlaufzeiten für die eigentliche Einstapelung. Aus den Ergebnissen ist abzuleiten, daß durch die Kombination von freier Lüftung mit Wurflüftung mindestens die Hälfte der Lüfterlaufzeit und damit im gleichen Umfang Elektroenergie eingespart werden kann.

Überlagerungsergebnisse

Vom Institut für Kartoffelforschung Groß Lüsewitz und vom Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg wurden die Untersuchungen zum Einfluß der Lüftungsvarianten auf das Überlagerungsergebnis durchgeführt. Dabei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Varianten, wobei jedoch auf den ausgezeichneten Gesundheitszustand des eingelagerten Knollenmaterials hinzuweisen ist.

Schlußfolgerungen

Aufgrund der bisherigen Untersuchungen und unter Berücksichtigung der Forderung, auch für möglicherweise weniger günstige Witterungsbedingungen das Überlagerungsergebnis zu sichern, sind folgende Schlußfolgerungen zu ziehen:

— Das Prinzip der Wurflüftung in Kombination mit Elementen der freien Lüftung („kombinierte Lüftung“) reduziert im beachtlichen Umfang den Energiebedarf gegenüber der reinen Zwangslüftung und gewährleistet gleichzeitig eine ausreichende Einhaltung der geltenden Klimaanforderungen.

— Die „kombinierte Lüftung“ eignet sich zur Anwendung sowohl für die Rekonstruktion bestehender als auch für die Projektierung und den Bau neuer ALV-Behälterlager. Im Rahmen der fortzusetzenden Arbeiten zur kombinierten Lüftung sind besonders die Bedingungen für die Einhaltung der biologisch bedingten Klimaparameter und erforderlichenfalls deren Präzisierung zu beachten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, daß durch die intensive Arbeit aller Beteiligten beachtliche Energieeinsparungen bei voller Erhaltung der Sicherheit bezüglich des klimabedingten Überlagerungsergebnisses in industriemäßig bewirtschafteten Pflanzkartoffel-ALV-Anlagen wirksam gemacht worden sind.

Literatur

- [1] TGL 21240/04 Saat- und Pflanzgut; Pflanzkartoffelproduktion; Lagerung in Lagerhäusern und Großmieten. Ausg. 9/80.
- [2] Schierhorn, H.: Das System der freien Konvektionslüftung bei der Kartoffellagerung in Behältern und seine Anwendung in der DDR. agrartechnik 29 (1979) H. 9, S. 419—422. A 3077