

Verbesserung des Lagerklimas in Behälterlagern durch Einsatz der Miniwurflüftung

Dr.-Ing. H.-J. Hegner, KDT/Dipl.-Ing. P. Delmhorst, KDT/Prof. Dr. sc. techn. W. Maltry, KDT
 Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR
 Staatl. gepr. Landw. G. Wittchen, VEB Wissenschaftlich-Technisches Zentrum der Saatgutwirtschaft Quedlinburg

Problemstellung

In einigen Pflanzkartoffelbehälterlagern der DDR können gegenwärtig die Forderungen des Standards TGL 21 240/04 [1] kaum eingehalten werden, da keine mechanische Belüftungsmöglichkeit besteht. Das betrifft vor allem die Behälterlager mit „freier Konvektionslüftung“ (FKL) nach Schierhorn [2]. In den kritischen Lagerphasen helfen sich die Betriebe teilweise damit, zusätzliche Lüfter zur Abtrocknung, zur Beseitigung von Schwitzschichten, zur Beseitigung von Kondenswasser an der Innenfläche der Bauhülle oder zum Abbau von Temperaturschichtungen im Raum aufzustellen.

Die Verbesserung der Klimaführung in diesen Lagerhäusern ist deshalb nach mehrjährigen Erfahrungen der Betreiber von FKL-Lagerhallen ein Anliegen, das in zunehmendem Maß an die Wissenschaftler des Forschungszentrums für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben und des VEB Wissenschaftlich-Technisches Zentrum (WTZ) der Saatgutwirtschaft Quedlinburg (vormals Ingenieurbüro des VVB Saat- und Pflanzgut) herangetragen wird.

Die wissenschaftlich-technische Aufgabenstellung besteht darin, sich in allen Bereichen des Lagerraums den für das Lagergut geltenden optimalen Klimabedingungen zu nähern, indem solche Faktoren, die die Qualität der Kartoffeln besonders negativ beeinflussen, wie Schwitzschichten und Temperaturschichtungen im Raum bei länger anhaltenden Frostperioden, verhindert bzw. abgebaut werden.

Lösungsansatz

Der für die Versuchsanstellung konzipierte Lösungsvorschlag lehnt sich hinsichtlich der Luftführung an die Projektlösungen der Angebotsprojekte des VEB WTZ der Saatgutwirtschaft an. Mit der Forschungs- und Entwicklungsaufgabe sollte geprüft werden, wie das seit 10 Jahren bewährte System der Wurflüftung [3, 4] unter Beibehaltung der Raumströmung (Bild 1) und einer geordneten

Frishluft-, Umluft- und Mischluftfahrweise in FKL-Lagerhallen zum Einsatz gelangen könnte.

Die Luftzuführung und -abführung erfolgt bei der Wurflüftung überwiegend über dem Behälterstapel. Die im Lagerraum mit der Raumströmung umgewälzte Luftmenge ist mindestens um das Doppelte größer als der von den Lüftern geförderte Volumenstrom. Durch diese Luftführung 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 aus der Wärmeabgabe der Kartoffeln resultierenden Auftriebsströmung ein Temperaturpotential entgegengesetzt wird, das erfahrungsgemäß zu einer Vergleichmäßigung der Temperaturen im Behälterstapel führt. Diese Art der Luftführung ermöglicht eine Belüftung mit 100% Außenluft bis zu einer Außenlufttemperatur von -3°C , da durch die Strahlinduktion nur vorgemischte Luft in Kartoffelnähe gelangt.

In den Projekten des WTZ befinden sich an den beiden Längswänden der Belüftungseinheit ein Zuluft- bzw. ein Abluftkanal. Die Luftauslässe über dem Behälterstapel haben untereinander einen Abstand von maximal 1,0 bis 1,5 m. Die Schlitzschieber im Abluftkanal sind vor allem am Kanalende noch wesentlich dichter angebracht.

Die Luken zur Einbeziehung der freien Lüftung befinden sich ebenfalls in Deckennähe, und zwar an den Stirnseiten der Belüftungseinheiten.

In den FKL-Lagerhallen wird angestrebt, die Voraussetzungen zur Funktion der freien Lüftung beizubehalten (keine Abtrennung in Belüftungseinheiten, ausreichend großer Stapelabstand) und sie durch eine mechanische Belüftung in Form der Wurflüftung zu ergänzen. Zuluftgestaltung und Abluftführung müssen zwischen den Luken in den Gebäudelängswänden eingeordnet werden. Daraus ergibt sich zwangsläufig eine räumliche Auflösung des Zuluftkanals in kurze Teilstücke mit eigenen Ventilatoren und eigener Misch-einrichtung. Der Abstand zwischen den Zuluftaggregaten – im folgenden als „Miniwurf-

lüftung“ bezeichnet – darf nicht wesentlich über 15 m liegen. Anstelle des Abluftkanals sind auf der gegenüberliegenden Gebäude-seite, möglichst im ersten Stützenfeld beginnend, jeweils zwischen den gegenüberliegenden Zuluftaggregaten Ablüfter in der Wand einzubauen. Durch diese aufgrund der räumlichen Gegebenheiten einzige mögliche Anordnung der Miniwurflüftung und der Ablüfter ist von vornherein klar, daß mit der zu erarbeitenden Grundlösung nicht die Parameter der Angebotsprojekte bezüglich realisierter Lüfrate und Gleichmäßigkeit erreicht werden können.

Die Konzeption der Miniwurflüftungsaggregate gewährleistet neben dem Frishluftbetrieb auch eine sinnvolle Möglichkeit, die Anlage mit Umluft bzw. Mischluft zu betreiben.

Die konstruktive Ausbildung des Miniwurf-lüftungsaggregats ist im Bild 2 dargestellt. Die Baugruppe I ist vor dem Lüfter angeordnet. Sie beinhaltet die Ansaugöffnungen für Frishluft aus der Atmosphäre und für Umluft aus dem Raum sowie zwei in diesen Querschnitten angeordnete Drosselklappen zum Mischen. Baugruppe II ist als Druckkanal ausgebildet und enthält im oberen Bereich Lüftungsstützen mit Schöpfungen.

Zwischen den Baugruppen I und II befindet sich der Axiallüfter auf Tragplattenrahmen und Schwingungsisolatoren. Der Axiallüfter ist über Elastikrohre mit beiden Baugruppen verbunden.

Praxiserprobung

Bei der Praxiserprobung der dargestellten Grundkonzeption wurden folgende Schwerpunkte untersucht:

- Nachweis der Raumströmung zur Ausbildung von wurflüftungstypischen Strömungsbildern
- Optimierung des Erprobungsmusters bezüglich des Einsatzes der materiellen und finanziellen Fonds
- Überwachung der Klimaführung in einer FKL-Lagerhalle während einer gesamten Lagerperiode.

Da die überwiegende Anzahl der FKL-Lager-

Bild 2. Prinzipdarstellung der Miniwurflüftung:
 a Elastikrohr, b Ventilator, c Tragplattenrahmen

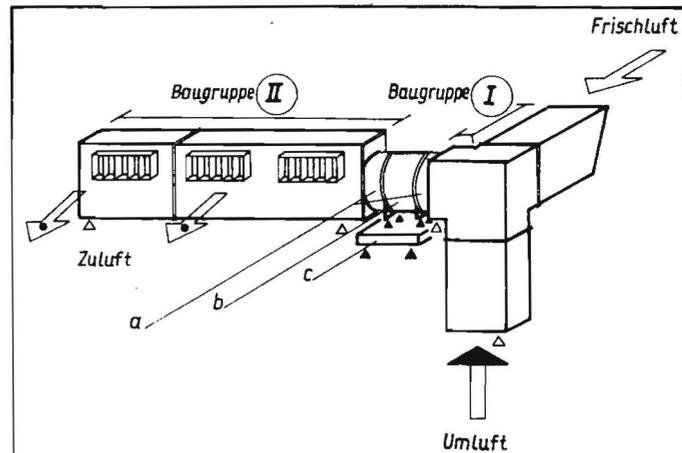
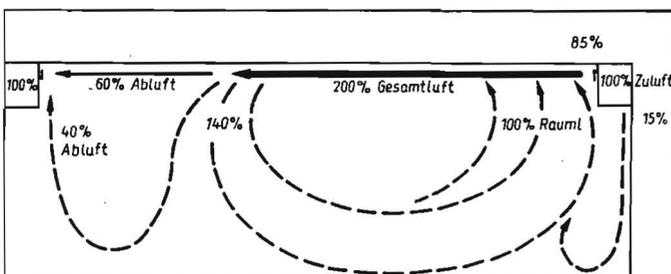


Bild 1. Darstellung der Raumströmung beim System der Wurflüftung



Tafel 1. Schaufelstellung, Volumenstrom und ermittelter Gesamtimpuls

Variante	Schaufelstellung Anstellwinkel °	Volumenstrom Impuls	
		m ³ /h	N
1	-10	13 100	22
2	-5	14 700	27
3	± 0	16 400	34
4	+5	18 800	45

hallen maximal 21 m breit ist, wurden die Untersuchungen zunächst auf diese Raumbreite beschränkt.

Die Erprobung wurde in dem im Zeitraum 1978/79 von der LPG (P) Bösleben, Bezirk Erfurt, errichteten Pflanzkartoffelbehälterlagerhaus Witzleben durchgeführt. Dieses Lagerhaus (Abmessungen 72 m × 21 m × 7,2 m) ist als FKL-Halle für eine Lagerkapazität von 3600 t ausgelegt worden.

Die Außenwände bestehen bis zu einer Höhe von 6,0 m aus einer doppelten Gasbetonwand mit einer Gesamtdicke von 0,48 m. In Deckennähe sind an den Längsseiten der Halle in jedem zweiten Stützenfeld (Stützenabstand 3,0 m) Luken in einer Größe von 0,78 m × 0,78 m eingeordnet. Die Decke ist als ebene Asbestzementdecke mit entsprechender Wärmedämmung ausgebildet. Als Behälter kommen die Typen T922-D (1,5 t Fassungsvermögen), T922-B (0,9 t Fassungsvermögen) sowie 0,6-t-Behälter älteren Typs zum Einsatz.

Das Erprobungsmuster des Miniwurfleistungsaggregats besteht aus folgenden Bauteilen:

- Kniekanal 800 mm × 800 mm mit zusätzlich angebrachten Ansaugstutzen 800 mm × 800 mm mit Drosseleinrichtung für Frischluft-, Mischluft- und Umluftbetrieb
- Ventilator des Typs LANN 800-10... + 15/63-8-2,2
- Druckkanal 800 mm × 800 mm × 3000 mm mit 3 Lüftungstutzen 400 mm × 800 mm mit geradem Ausblas und Schöpfzunge.

Diese Baugruppen wurden im Westteil der FKL-Lagerhalle auf der Gebäudenordseite eingebaut. Eingestapelt wurden in diesem Hallenbereich Behälter des Typs T922-B.

Ermittlungen zur Raumströmung

Zum Test der Raumströmung wurden vier verschiedene Arbeitspunkte am Ventilator eingestellt und ausgemessen. Die Schaufelstellung und die zugehörigen Volumenströme sind in Tafel 1 angegeben.

Die Konstruktion der Anlage mit drei Lüftungstutzen erfordert bei der notwendigen Wirkbreite und Wurfweite des Zuluftstrahls eine erhebliche Erhöhung des Impulses für jeden Auslaß gegenüber dem Angebotsprojekt. In Anlehnung an die Auslegung für die Luftauslässe in den Zuluftkanälen bisheriger Projektlösungen mit 2,0 bis 3,0 N/Auslaß bei rd. 15 Auslässen für eine Kanallänge von 18 m ergibt sich theoretisch ein notwendiger Gesamtimpuls von 30 bis 45 N, um eine wurflüftungstypische Raumströmung zu erzielen.

Die Raumströmungen für alle Varianten sind in den Bildern 3 bis 6 in Form von Linien gleicher Geschwindigkeit (Isotachen) dargestellt. Die Interpretation dieser Geschwindigkeitsmessungen, ergänzt durch visuell ausgewer-

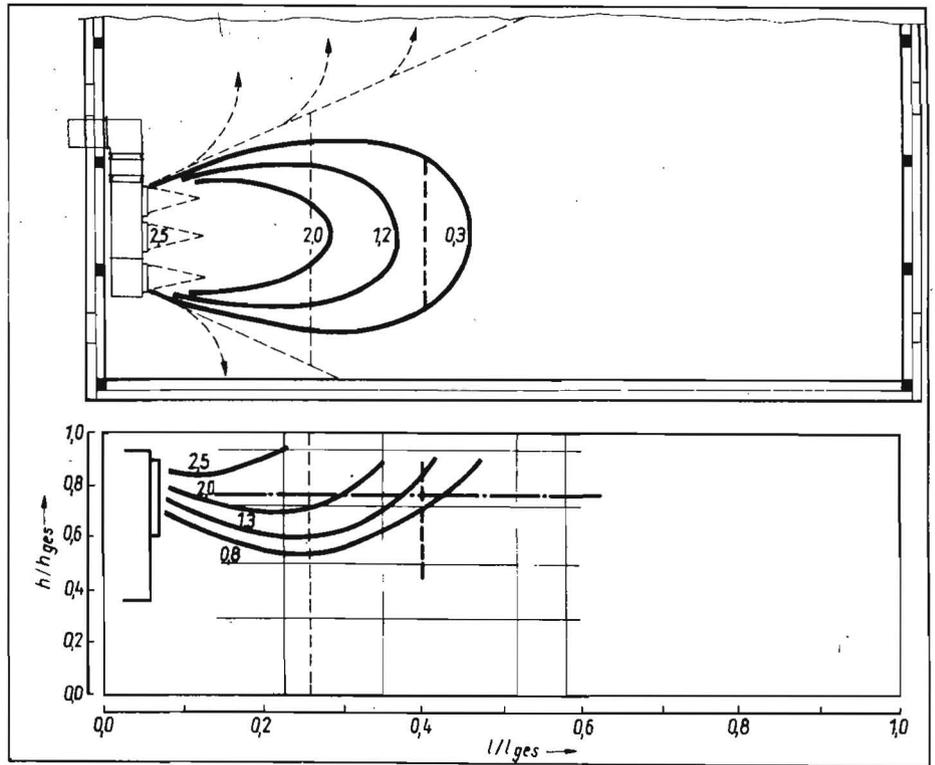


Bild 3. Strahlausbreitung, Variante 1, horizontaler und vertikaler Verlauf

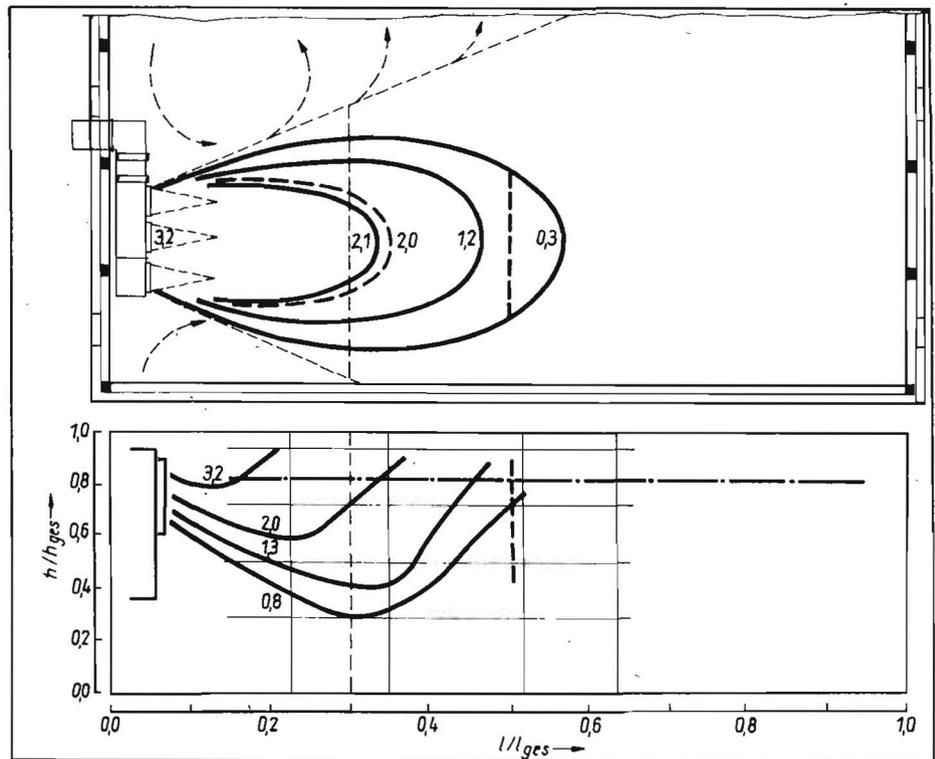


Bild 4. Strahlausbreitung, Variante 2, horizontaler und vertikaler Verlauf

tete Rauchgasversuche, führt zu nachfolgender Bewertung der untersuchten Varianten.

Die Variante 1 (Bild 3) verdeutlicht die Strahlausbreitung für einen Volumenstrom von 3,64 m³/s. Für die Ausbildung einer alle Bereiche des Lagerraums erfassenden Raumströmung reicht die Wirkungstiefe des Kernstrahlbereichs nicht aus. Bereits in einer Entfernung von $l/l_{ges} = 0,58$ ist die Strahlwirkung nicht mehr nachweisbar. Die umgewälzte Sekundärluftmenge beträgt bei $l/l_{ges} = 0,27$ rd. 43%. Seitlich vom Kernstrahl kann keine Strahlinduktion nachgewiesen werden.

Die Strahlausbreitung für Variante 2 ist im Bild 4 dargestellt (Volumenstrom 4,08 m³/s). Erkennbar ist hier ein seitliches Ansaugen geringer Sekundärluftmengen in unmittelbarer Nähe des Zuluftkanals. Die vom Strahl induzierte Sekundärluftmenge in der Schnittebene $l/l_{ges} = 0,30$ kann mit 71% nachgewiesen werden. Die Strahlausbreitung bleibt jedoch auf $l/l_{ges} = 0,58$ beschränkt. Damit kann keine ausreichende Belüftung der an der Abluftseite befindlichen Behälter erzielt werden.

Für Variante 3 gibt Bild 5 das Geschwindigkeitsprofil wieder (Volumenstrom 4,56 m³/s). Eine stabile Strahlausbreitung ist bis l/l_{ges}

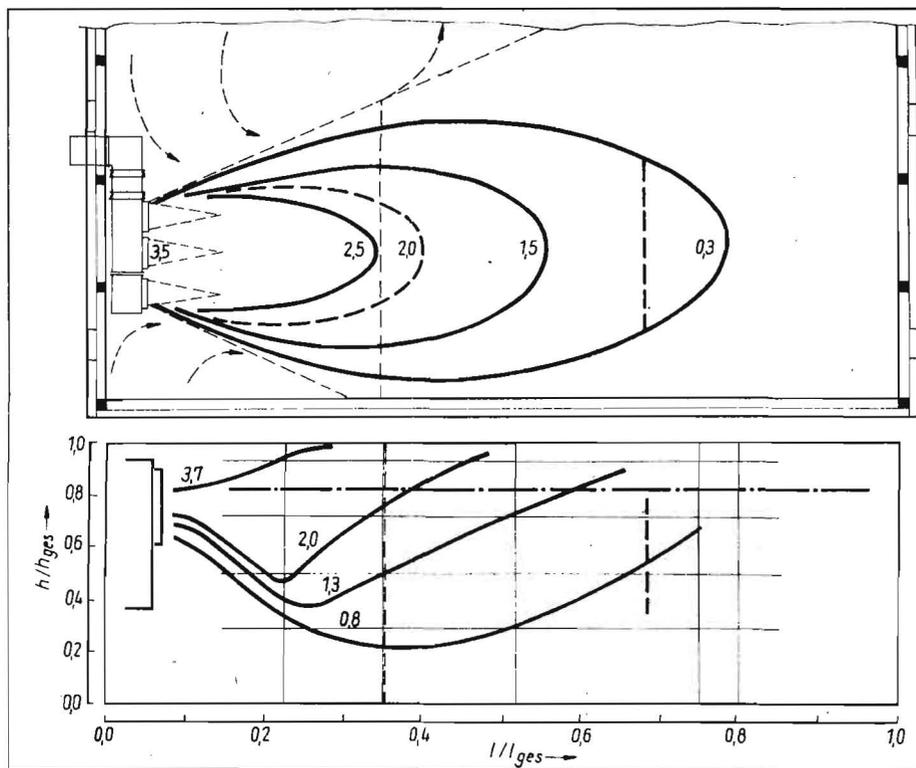


Bild 5. Strahlausbreitung, Variante 3, horizontaler und vertikaler Verlauf

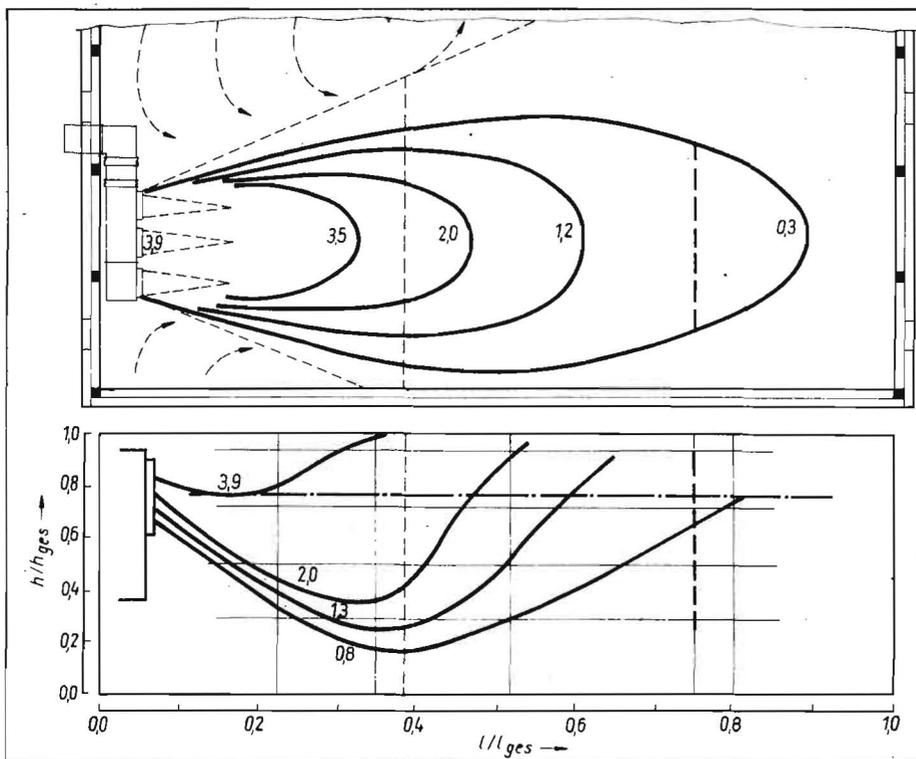


Bild 6. Strahlausbreitung, Variante 4, horizontaler und vertikaler Verlauf

$l_{ges} = 0,78$ festzustellen. Nachweisbar sind auch beträchtliche seitlich angesaugte Sekundärluftmengen. Sie betragen rd. 25% der Gesamtssekundärluftmengen. In der Schnittebene $l/l_{ges} = 0,35$ wird ein Volumenstrom von $35000 \text{ m}^3/\text{h}$ bewegt, d. h., die umgewälzte Gesamtluftmenge beträgt 213% des Zuluftförderstroms. Der Luftstrom reicht in seiner Wirkung bis zur gegenüberliegenden Außenwand. Damit ist eine Belüftung aller Behälter gewährleistet. Der Gesamtimpuls liegt mit 34 N im Bereich der theoretisch ermittelten Werte.

Die Ergebnisse für Variante 4 mit einem Vo-

lumenstrom von $5,22 \text{ m}^3/\text{s}$ sind im Bild 6 dargestellt. Bis zur Abluftseite ergibt sich eine vollständige Strahlausbreitung. Allerdings bildet sich der Strahl an der Decke als ebener Halbstrahl aus und läuft bis zu den Abluftöffnungen durch. Eine Strahlauflösung im Raum oberhalb der Behälter ist nicht zu erkennen. Die vom Strahl angesaugte Sekundärluftmenge steigt gegenüber Variante 3 nur geringfügig an. Dieses Verhalten läßt darauf schließen, daß die Strahlinduktion eine „Sättigung“ erreicht hat und eine weitere Steigerung der Primärluftmenge keine Verbesserung der Raumströmung bewirkt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß mit den Parametern der Variante 3 die für die Wurflüftung in Behälterlagern typischen Raumströmungsbilder entstehen. Mit dieser Einstellung wurde während der gesamten Lagerperiode gearbeitet.

Einschätzung des Betreibers

Der Verlauf der Lagerung in der untersuchten Lagerperiode und die erzielten Auslagerungsergebnisse erbrachten die Bestätigung für die richtige Einstellung der Lüftungsanlage und die fachgerechte Bewirtschaftung durch die LPG(P). Die Lüfterlaufzeit betrug weniger als 500 Stunden. Mit der durch die Wurflüftung in Form der Miniwurflüftung erreichten freien Lüftung konnte die Zielstellung im wesentlichen erreicht werden. Ausdruck dessen ist eine 1,5- bis 2%ige Verbesserung des Auslagerungsergebnisses durch Verminderung der Keimmasse. Die Einschätzung der LPG(P) sieht wie folgt aus [5]:

- Die Abtrocknung in der Phase der Wundheilung verläuft günstiger als bei FKL.
- Naßfaule Kartoffeln mumifizieren besser.
- Die Temperaturunterschiede zwischen den unteren und den oberen Behältern sind gering.
- Bei regelmäßiger Inbetriebnahme der Wurflüftung setzt sich an der Decke kein Kondenswasser ab, die Luftfeuchtigkeit ist gleichmäßig verteilt.
- In der Hauptlagerungsphase kann die Lagertemperatur auch an kalten Tagen beeinflusst werden, da mit Umluft und Mischluft belüftet werden kann. Damit kann eine gleichmäßige Temperatur erreicht werden. Schwitzschichten treten nicht auf.

Optimierung des Zuluftaggregats

Entsprechend den bei Variante 3 erzielten Ergebnissen werden eine Optimierung des Versuchsmusters bezüglich Dimensionierung, Lüfterauswahl und konstruktiver Einordnung in das Bauwerk durchgeführt sowie der Energieanschlußwert und der Einsatz an verzinktem Stahlblech und Profilstahl auf das notwendige Mindestmaß reduziert. Die Miniwurflüftungsaggregate sind mechanisierungs- und automatisierungsfähig. Für größere Stützenabstände als $3,0 \text{ m}$ kann die Baugruppe II (Druckkanal) entsprechend verlängert werden.

In Tafel 2 sind die Kennwerte für die Auswahl und die Auslegung der „Optimierungslösung“ des Zuluftaggregats auf der Basis der in der DDR zur Verfügung stehenden Ventilatoren zusammengestellt. Ebenfalls angegeben ist der zugehörige Abluftventilator.

Einsatzbedingungen

Im Anwendungsfall werden rd. 600 t Pflanzkartoffeln mit einem Aggregat belüftet. Damit ergeben sich die in Tafel 3 zusammengestellten spezifischen Aufwands- und Effektivitätskennzahlen.

Zum Einsatz der Miniwurflüftung wurde eine Dokumentation erarbeitet, die beim VEB WTZ der Saatgutwirtschaft Quedlinburg zu beziehen ist [6]. Eine Anwenderinformation erfolgt ebenfalls im Rationalisierungs- und WTF-Katalog des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft [7]. Die Miniwurflüftung ist so konzipiert, daß jeder Nutzer den Einsatz selbständig planen und durchführen kann.

Bei der Einordnung in die jeweilige Grund-

Tafel 2. Auswahl und Auslegung der Optimierungslösung

Zuluftaggregat	
Ventilator	LANN 630-10... +20-8-0,75
Energieanschlußwert	0,75 kW
Schaufelstellung	+20°
Volumenstrom \dot{V}_z	12 500 m ³ /h
Gesamimpuls	34 N
Wurfweite	0,65...0,70 l/l _{ges}
umgewälzter	
Volumenstrom \dot{V}_0	rd. 25 000 m ³ /h
\dot{V}_0/\dot{V}_z	rd. 200 %
Ablüfter	
Wandringdüsenlüfter	LANFW 630/6-0,55
Energieanschlußwert	0,55 kW
Volumenstrom \dot{V}_A	rd. 10 000 m ³ /h

Tafel 3. Aufwands- und Effektivitätskennzahlen im Anwendungsfall, bezogen auf belüftete Lagerkapazität

spezifische Investitionskosten	15,83 M/t
Rückflußdauer	1,20... 1,61 Jahre
spezifische Betriebskosten	2,02 M/t
Energieanschlußwert	0,20 kW/100 t
Energieverbrauch je Lagerperiode	0,50 kWh/t
Materialverbrauch	
- verzinktes Stahlblech	0,23... 0,35 kg/t
- Profilstahl	0,10 kg/t

rißlösung sollten folgende Grundsätze beachtet werden:

- Die Lagerhalle muß für das FKL-System ausreichend groß bemessene Luken haben.
- Die Einsatzbedingungen wurden bisher nur für 21 m breite Räume erprobt.

- Die Miniwurlüftungsaggregate sind auf der kühleren Seite des Gebäudes zwischen den Luken im Abstand von etwa 15 m einzuordnen.
- Die Ablüfter sind auf der gegenüberliegenden Gebäudelängswand im Achsmaß zwischen den Zuluftaggregaten sowie in den beiden Endfeldern unmittelbar unter der Decke einzubauen.
- Die Einstapelung der Behälter muß ordnungsgemäß mit einem Stapelabstand von rd. 100 mm erfolgen.
- Das Einstapeln muß stets auf der Zuluftseite beginnen.

Zusammenfassung

Mit der Anwendung der Ergebnisse der vorgestellten Forschungsleistung können die auftretenden systembedingten Mängel in FKL-Lagerhallen mit einer Raumtiefe bis 21 m abgestellt werden. Die Sicherheit des Lagerverfahrens bezüglich der Verbesserung des Abtrocknungsverlaufs, der Verhinderung von Schwitzschichten, der Vermeidung von Temperaturschichtungen im Raum bei länger anhaltenden Frostperioden und damit eine Verminderung der Keimbildung in den oberen Behältern kann durch Einordnung einer mechanischen Belüftung erhöht werden. Die Miniwurlüftung ist eine sinnvolle Ergänzung des FKL-Systems. Mit geringen materiellen und finanziellen Fonds kann eine Luft-rate > 15 m³/t · h realisiert werden. Die Lösung ist für vorhandene Lagerhallen und für Neubauten anwendbar. Die Klimaführung kommt dem wissenschaftlich-technischen Höchststand nahe. Allerdings kann von dieser Form der Kombinationslüftung nicht die Gleichmäßigkeit der Raumströmung erwartet werden, die in den Angebotsprojekten erzielt wird. Die vorgeschlagene Form der Kombinationslüftung bei den zur Anwendung vorgesehenen Grundrißlösungen er-

möglicht drei Formen der Bewirtschaftung:

- freie Lüftung
- Wurflüftung
- „Ablüfter in Betrieb - gegenüberliegende Luken geöffnet“.

Mit der dritten Variante können die bewährten Erfahrungen der Pflanzkartoffelbehälterlager in Kröpelin, Bezirk Rostock, und Affalter, Bezirk Karl-Marx-Stadt, für die Bewirtschaftung dieser ehemaligen FKL-Lagerhallen genutzt werden.

Literatur

- [1] TGL 21-240/04 Saat- und Pflanzgut, Pflanzenproduktion; Lagerung in Lagerhäusern und belüftbaren Großmieten. Ausg. Sept. 1980, verbindlich ab 1. Juni 1981.
- [2] Schierhorn, H.: 10 Jahre Anwendung der „Freien Konvektionslüftung“ - ein Lüftungsverfahren bei der Lagerung von Kartoffeln in Behältern ohne Einsatz von Ventilatoren. Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR, Berlin 36 (1982) 9, S. 176-178.
- [3] Hegner, H.-J.; Maltry, W.; Delmhorst, P.; Bittner, K.; Wittchen, G.: Rationelle Energieanwendung bei der Klimagegestaltung in Pflanzkartoffel-ALV-Anlagen mit Behälterlagerung durch Anwendung der Kombinationslüftung. agrartechnik, Berlin 35 (1985) 3, S. 102-104.
- [4] Hegner, H.-J.; Maltry, W.; Delmhorst, P.; Wittchen, G.: Entwicklung von Belüftungssystemen für Pflanzkartoffelbehälterlager in der DDR. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 7, S. 299-302.
- [5] Friedrich, A.; Delmhorst, P.; Hegner, H.-J.; Wittchen, G.: Zur Verbesserung der Klimaführung in FKL-Hallen bis 21 m Raumbreite. Saat- und Pflanzgut, Quedlinburg 28 (1987) 11, S. 182-183.
- [6] Dokumentation „Miniwurlüftung für verschiedene Stützenabstände“. VEB WTZ der Saatgutwirtschaft Quedlinburg (vormals VEB Ingenieurbüro der VVB Saat- und Pflanzgut Quedlinburg), 1987.
- [7] Rationalisierungs- und WTF-Katalog des Ministeriums für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft für 1988. Markkleeberg: agrabuch 1988. A 5168

Strömungsverhältnisse in Kartoffelagerhäusern bei Wurflüftung

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

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR

Dr.-Ing. Annelies Wilke, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Tierproduktion

1. Problemstellung

Seit mehreren Jahren werden in der DDR Pflanzkartoffeln in Behälterlagerhäusern mit kombinierter Lüftung (Zwangslüftung kombiniert mit freier Lüftung) gelagert. Die volkswirtschaftliche Bedeutung derartiger Lagerhäuser ergibt sich aus der Tatsache, daß derzeit eine Lagerkapazität von rd. 1000 kt Kartoffeln in Behälterlagern vorhanden ist. Außerdem zählt die Kartoffel zu den maßgebenden landwirtschaftlichen Produkten der DDR, so daß die Sicherung eines quantitativen und qualitativ ausreichenden Anteils an Pflanzgut zu gewährleisten ist. Im wesentlichen wird die Einhaltung der Klimaparameter und damit der Qualität der eingelagerten Kartoffeln über das Belüftungsregime erzielt.

Aufgrund der Forderung nach sparsamem Elektroenergieverbrauch bei Gewährleistung TGL-gerechter Klimaparameter hat die kombinierte Lüftung breite Anwendung gefunden. Praxisuntersuchungen haben ergeben, daß die in Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft (FZM) Schlieben entwickelte Grundlösung zur kombinierten Lüftung, bestehend aus den Komponenten freie Lüftung und Wurflüftung, diesen Anforderungen gerecht wird [1, 2].

Die Erarbeitung weiterer wissenschaftlich fundierter Projektierungsgrundlagen erfordert u. a. Kenntnisse über die Besonderheiten der Strömungsvorgänge im Behälterstapel bei Anwendung der Wurflüftung. Hierzu wurden gemeinsame Untersuchungen der

Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg und des FZM Schlieben durchgeführt.

2. Grundlagen und Erkenntnisstand

Die Raumströmung in einem gefüllten Behälterlagerhaus ist nicht ohne weiteres aus bekannten strömungstechnischen Grundlagen und bisherigen Erkenntnissen ableitbar. Deshalb mußten zunächst wissenschaftlich-technische Grundlagen und Erkenntnisse, die für die zu untersuchende Raumströmung verwertbare Gesichtspunkte enthalten, analysiert werden.

2.1. Verhalten von Freistrahlen

Obwohl sich die untersuchten Zuluftstrahlen keinesfalls wie Freistrahlen ausbreiten können, weisen sie oberhalb der Kartoffelager-