

Zu Ergebnissen Lüftungstechnischer Messungen in Kartoffelstapeln der 10-kt-ALV-Anlagen

Dr.-Ing. W. Günzel, KDT, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR – Forschungsstelle Weimar

Grundvoraussetzung für eine qualitätsgerechte Lagerung der Kartoffeln ist eine auf das Kartoffellager abgestimmte Anbautechnologie. Qualitätsbeeinflussungen, die durch Fehler bei der Kartoffelproduktion entstehen, können durch die Lagerung nicht rückgängig gemacht werden. Die Kartoffelqualität kann im Lager nur erhalten werden. Die Bedingungen für eine verlustarme Lagerung der Kartoffeln in den Lagerhäusern sind wiederum eine gut funktionierende Lüftungsanlage und eine fachgerechte Bedienung der Lüftung.

1. Voraussetzungen für eine gut funktionierende Lüftungsanlage

Die Voraussetzungen für eine gut funktionierende Lüftungsanlage in den Haufen- und Sektionslagern müssen zunächst von bautechnischer Seite gegeben sein. Dazu gehören

- die Größe der Lüftungstechnischen Einheit und die Wahl des Lüftungssystems
- die Fördermenge der installierten Lüfter im Verhältnis zur Lagerkapazität (40 bis 60 m³/t·h bei Haufen- und Sektionslagerung)
- die technische Lösung einer gleichmäßigen Luftverteilung über den gesamten Stapel.

Diese bautechnischen Entscheidungen über das Lüftungssystem der Kartoffellager sind für eine verlustarme Lagerung der Kartoffeln von größter Bedeutung. Sie werden bereits in der Vorbereitungsphase der Projektierung und auf dem Reißbrett selbst getroffen. Ist das Lagerhaus erst errichtet, können die Lüftungswarte im wesentlichen nur noch durch eine fachgerechte Bedienung der Lüftungsanlage auf eine verlustarme Lagerung der Kartoffeln einwirken. Rekonstruktionsmaßnahmen beim eingebauten Lüftungssystem sind in größerem Umfang in der Praxis kaum durchführbar. Mit Nachdruck sei deshalb auf die große Verantwortung der Praktiker und Wissenschaftler hingewiesen, die an der Konzipierung solcher Anlagen mitwirken. Das gilt insbesondere für die in Entwicklung befindlichen neuen Anlagen.

2. Empfehlungen zur Bedienung der Lüftungsanlagen aus Temperatur-, Feuchte- und CO₂-Verlaufsmessungen

2.1. Temperaturverlaufsmessungen

In den Haufen- und Sektionslagern (Bild 1) stellen wir teilweise noch erhebliche Temperaturunterschiede im Kartoffelstapel fest, die im wesentlichen durch unterschiedliche Strömungsverhältnisse bedingt waren. In den Sektionen der 10-kt-ALV-Anlagen ist die Luftströmung im Stapel und damit auch die Temperaturverteilung in den Randzonen — bis etwa 1,5 m von beiden Längsseiten — gut, sie ist noch zufriedenstellend im oberen Teil in der Mitte der Sektion. Sie ist aber völlig unzureichend in einem Kern, der sich im unteren Teil der Sektion, zwischen den Lüftungskanälen befindet. Die Ursache liegt in der seitlichen Anordnung der Abluftkanäle, wodurch eine gewisse Kurzschlußlüftung in den Randzonen der Sektion entsteht, so daß der mittlere Teil nicht ausreichend durchströmt wird.

Zur Behebung dieses Defektes wurden Untersuchungen durchgeführt, die Sektion quer zu durchlüften. Bei den Versuchen drückten die Lüfter unten rechts und oben rechts Luft in den Stapel bzw. in den Raum. Mit dem Lüfter unten links wurde über den Abluftkanal die Luft wieder abgesaugt. Diese Fahrweise brachte im unteren Bereich der Sektion nur dann einen Temperaturrückgang, wenn

- der Temperaturunterschied zwischen Zuluft- und Stapeltemperatur mindestens 3 bis 4 °C betrug

- mindestens 5 Stunden in dieser Art gelüftet wurde
- die Sektion zum Temperatúrausgleich anschließend wieder normal belüftet wurde.

Blieben diese Erkenntnisse unberücksichtigt, kam es in den oberen Schichten der Sektion zur Temperaturerhöhung und zu Tauwasserniederschlag.

Kurzschlußlüftung trat auch im hinteren Teil der Sektion, an der Böschung zum Tor auf, wo Temperaturunterschiede über den Sektionsquerschnitt bis 8 grd registriert wurden. Nach dem Prinzip des geringsten Widerstands nimmt die Luft ihren Weg zu den Abluftkanälen über diese Böschung, während der anschließende Bereich mit der vollen Stapelhöhe schlecht durchlüftet wird. Untersuchungen mit unterschiedlichen Rostabdeckungen in diesem Bereich konnten noch nicht befriedigen. Wir sind der Meinung, daß man das hintere Drittel der Sektion lüftungstechnisch nur dann in den Griff bekommt, wenn der Luftwiderstand über den gesamten Kartoffelstapel hinweg gleich ist. Das kann jedoch nur erreicht werden, wenn die gesamte Sektion bis zum Tor auf gleicher Höhe befüllt wird. Dazu sind bauliche Veränderungen im Bereich des Tors notwendig. Neben dem Vorteil der besseren Durchlüftung des hinteren Bereiches könnten je Sektion etwa 25 t Kartoffeln mehr eingelagert werden.

Die Einhaltung der Stapeltemperaturen und -feuchten entsprechend den Parametern der Belüftungsanweisungen der Ingenieurbüros Groß Lüsewitz und Quedlinburg ist nur durch eine optimale Ausnutzung der Außenluftzustände mit Hilfe der Lüftung zu erreichen. Damit wird die aktuelle Frage der Meßwerterfassung angesprochen, die in den Kartoffellagerhäusern derzeit über

- Registriergeräte
- Anzeigegeräte
- Mieten- und Quecksilberthermometer in Verbindung mit Haarhygrometer

erfolgt. Registriergeräte haben sich wegen ihres hohen Wartungsaufwands in der Praxis nicht bewährt. Aus praktischen Erfahrungen mit Meßgeräten in dem Lagerhausmilieu empfehlen wir zur Meßwerterfassung Anzeigegeräte

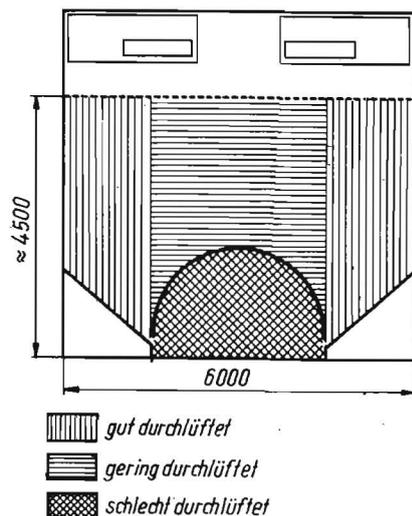


Bild 1
Schema der Durchlüftung einer Sektion

Bild 2. Anordnung der Meßstellen zur Meßwertverfassung in einer Sektion

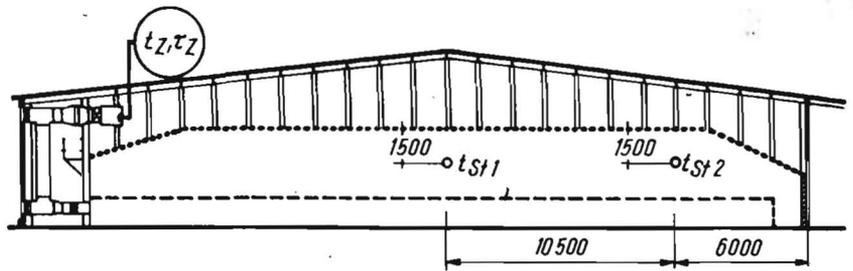


Bild 3. Darstellung der Luftzustände des Kartoffelstapels im i, x-Diagramm in den einzelnen Lagerperioden

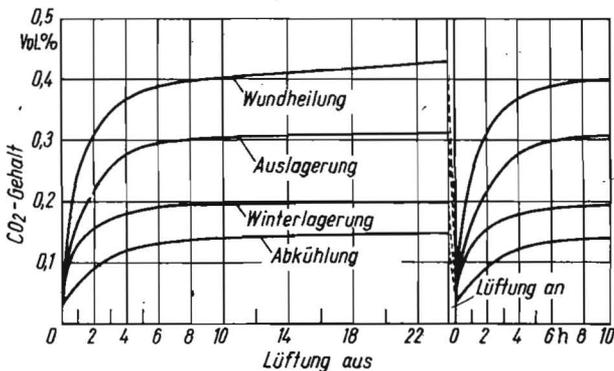
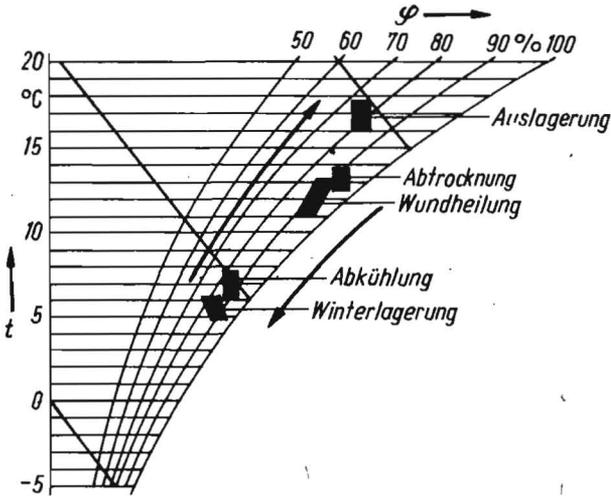


Bild 4. CO₂-Anreicherung im Kartoffelstapel während einer 24stündigen Belüftungspause

zur Fernanzeige von Meßwerten des VEB Feutron mit 11 bzw. 23 Meßstellen. Beide Gerätetypen können zur Temperatur- und Taupunktwerterfassung kombiniert eingesetzt werden.

Mehrjährige eigene Temperatur- und Feuchtemessungen (Bild 2) in 10-kt-ALV-Anlagen mit 6,0 m breiten Sektionen — aber auch in anderen Lagern mit 12,0 m breiten Sektionen — ergaben, daß mit Hilfe von 2 Temperaturmeßstellen im Kartoffelstapel bereits mit ausreichender Sicherheit auf das Temperaturverhalten des gesamten Stapels geschlossen werden kann. Dazu müßten noch die Zulufttemperatur und die Zuluftfeuchte gemessen werden. Die Meßwertverfassung in einer Sektion beschränkt sich somit auf 4 Meßfühler:

Meßfühler 1 — Typ 1009 flexibel, Mitte der Sektion 1,5 m tief in Stapelmitte

Meßfühler 2 — Typ 1009 flexibel, 6 m vom Beschickungsgang, 1,5 m tief in Stapelmitte

Meßfühler 3 — Typ 1001, stationär im Zuluftstrom

Meßfühler 4 — Typ 1002, stationär im Zuluftstrom.

2.2. Feuchteverlaufsmessungen

Die Stapeltemperaturen sind in der Praxis meist die alleinige Regelgröße für die Belüftung der Sektionen, die Luftfeuchten im Stapel stellen sich bei Lüfterlauf und bei Lüfterruhe entsprechend ein. Um zu Aussagen über den tatsächlichen Feuchteverlauf im Stapel zu gelangen, wurden in einer Sektion einer 10-kt-ALV-Anlage in 3 Meßhöhen Feuchteverlaufsmessungen durchgeführt (Bild 3). Die untere Meßebe befand sich 0,50 m, die mittlere 2,00 m und die obere 3,50 m über OKF. Die feuchte Luft im Stapel unterliegt Gesetzmäßigkeiten, die sich am Mollier-i, x-Diagramm am einfachsten darstellen lassen. Aus unseren Messungen ist zu entnehmen, daß der absolute Feuchtegehalt der Luft in den drei Meßhöhen während der Abtrocknung, Abkühlung und Auslagerung annähernd gleich war, d. h. die Luftzustände stellen sich fast ausschließlich auf einer Senkrechten dar. In der Wundheilungsperiode dagegen wurde ein Anstieg der absoluten Luftfeuchte von der oberen zur unteren Meßebe festgestellt. In der Winterlagerung verhielten sich die Luftzustände gerade umgekehrt. Durch Temperaturunterschiede innerhalb des Stapels kam es zu erheblichen Schwankungen der relativen Luftfeuchte.

In der Horizontalen traten wiederum Abweichungen auf, die durch Feuchtigkeitsanreicherung bei Lüfterruhe bedingt waren. Der Anstieg betrug bis zu 4 g/m³ Luft.

In den Perioden der Abtrocknung und Wundheilung lagen z. B. die mittleren Stapeltemperaturen zwischen 11 und 13,5 °C, die mittleren relativen Luftfeuchten zwischen 87 und 99 Prozent. In den Perioden der Abkühlung und der Winterlagerung wurden mittlere Stapeltemperaturen zwischen 5 und 7,5 °C gemessen, die mittleren relativen Luftfeuchten variierten zwischen 78 und 96 Prozent. Bei den Einzelwerten war die Schwankungsbreite weit höher.

Die Messungen ließen weiter erkennen, daß es vorwiegend die unteren Stapelbereiche waren, in denen die relativen Luftfeuchten zu niedrig lagen. Diese Partien waren durch vermehrte Trockenfäule sowie durch Masseverluste infolge Feuchteentzug besonders gefährdet. Demgegenüber wurden in den oberen Bereichen teilweise zu hohe Luftfeuchten erfaßt, so daß es hier zur Schwitzkopfbildung und zur Fäulnisausbreitung kam. Durch die teilweise recht erheblichen Temperaturunterschiede schwanken die relativen Luftfeuchten im Stapel so stark, daß die Kartoffeln sowohl durch Trockenfäule- als auch durch Naßfäuleerreger gefährdet sind und durch Feuchteentzug starke Masseverluste beim Lagergut eintreten können.

Das erfordert

- die Bereitstellung von gut ausgereiften, festschaligen und widerstandsfähigen Kartoffeln durch den Feldbau; daraus leiten sich bestimmte Aufgaben für die Züchtung ab
- die strikte Einhaltung der in den Lüftungsanweisungen gegebenen Richtlinien
- die Entwicklung eines Meßverfahrens für die Praxis zur Bestimmung der relativen Luftfeuchte in Schüttungen.

2.3. CO₂-Verlaufsmessung

Die grafische Darstellung im Bild 4 läßt die CO₂-Anreicherung im Kartoffelstapel in Abhängigkeit von der Dauer der Belüftungspause in den Lagerperioden der Wundheilung, der

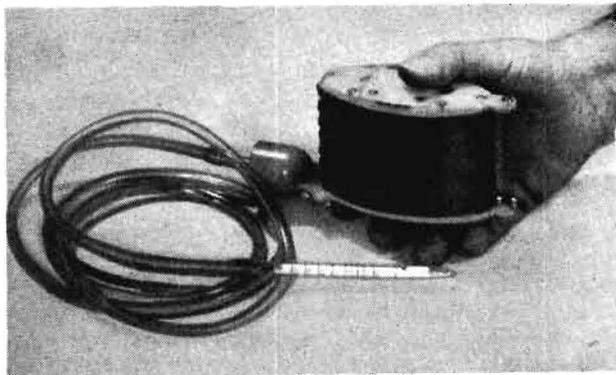


Bild 5. Gasspürgerät zur CO₂-Bestimmung im Kartoffelstapel

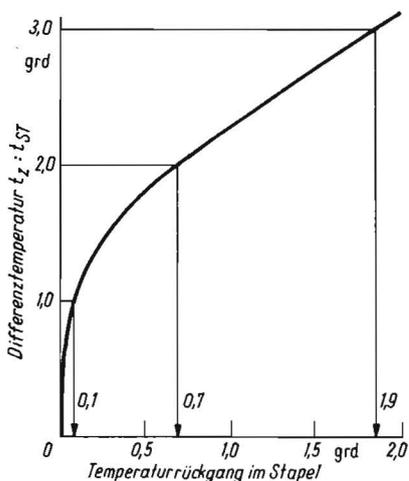


Bild 6
Temperaturrückgang im Kartoffelstapel nach einer Lüfterlaufzeit von 24 Stunden

Abkühlung, der Winterlagerung und der Auslagerung erkennen. Auf der Abszisse ist zunächst die Dauer der Belüftungspause über einen Zeitraum von 24 Stunden aufgetragen, es folgt eine kurzzeitige Lüfterlaufzeit von 10 bis 15 min und wieder der Beginn einer neuen Lüftungspause. Auf der Ordinate ist die CO₂-Konzentration im Kartoffelstapel in Volumenprozent dargestellt.

Die CO₂-Anreicherung war nach einer 24stündigen Belüftungspause in den einzelnen Lagerperioden unterschiedlich hoch. Die Endwerte lagen in der Wundheilungsperiode mit 0,43 Volumenprozent am höchsten, in der folgenden Abkühlungsperiode ging die CO₂-Konzentration auf 0,15 Volumenprozent zurück, obwohl die mittleren Stapeltemperaturen noch 11 °C betragen. Die geringe Atmungsaktivität der Kartoffeln während dieser späteren Abkühlungsperiode im November resultiert offenbar aus der Fumigant-Behandlung. In der Winterlagerung kühlen sich die Stapeltemperaturen bis auf 4 °C ab, trotzdem zeigte die CO₂-Konzentration im Stapel ansteigende Tendenz und lag mit 0,20 Volumenprozent höher als in der Abkühlungsperiode. Diese erhöhte Atmungsintensität weist bereits auf beginnende Fäulnis im Meßbereich hin. Mit zunehmenden Stapeltemperaturen in der Auslagerungsperiode stieg die CO₂-Konzentration wieder bis auf 0,32 Volumenprozent an. Durch die vorliegenden Untersuchungen wird bewiesen, daß die CO₂-Konzentration im Kartoffelstapel nach einer 24stündigen Belüftungspause noch keine „bedenklichen“ Werte annimmt; der kritische Grenzwert von 1,0 Volumenprozent wurde bei keiner Einzelmessung erreicht. Durch die Wärme Konvektion des Stapels während der Belüftungspause wurde eine größere CO₂-Ansammlung vermieden. Eine Lüfterlaufzeit von 10 bis 15 Minuten reicht aus, um die CO₂-Anreicherung aus dem Stapel zu entfernen.

Wie bereits erwähnt, weist die erhöhte Atmungsintensität und die damit verbundene vermehrte CO₂-Ausscheidung der Kartoffeln im Winterlager auf Fäulnisinfektionen hin, die einen starken Atmungsanstieg bei den Knollen bewirken. Anhand der CO₂-Entwicklung im Kartoffelstapel können Schlußfolgerungen hinsichtlich der Fäulnisentwicklung gezogen werden. Diese Aussage ist über die Stapeltemperaturen nicht ohne weiteres möglich. Wir empfehlen deshalb den Einsatz eines Meßgeräts zum Erfassen der CO₂-Konzentration (Bild 5). Hier genügt ein Gasspürgerät, an dessen Ansaugöffnung ein etwa 1 m langer Schlauch mit einem CO₂-Prüfröhrchen angeschlossen wird. Das Prüfröhrchen wird mit dem Schlauch in den Kartoffelstapel abgesenkt. Da die CO₂-Entwicklung im gesamten Stapel annähernd gleich ist, kann aufgrund der erfaßten CO₂-Konzentration auf die Fäulnisausbreitung im Stapel geschlossen werden.

3. Wirksamkeit der Lüftung

Die Frage der Wirksamkeit der Lüftung ist von großer ökonomischer Bedeutung für eine verlustarme Lagerung einerseits und für eine rationelle Energieanwendung andererseits. Besonders in der Abkühlungsperiode kommt es darauf an, den Stapel schnellstmöglich auf die vorgegebenen Lagertemperaturen zu bringen. Ausschlaggebend für die Temperaturabnahme des Kartoffelstapels ist die Temperaturdifferenz zwischen Zuluft- und Stapeltemperatur in Abhängigkeit von der Zeitdauer der Lüfterlaufzeit. Untersuchungen in einer Sektion mit 600 t Lagergut zeigten bei einer konstanten Temperaturdifferenz zwischen der Zulufttemperatur und der Stapeltemperatur nach einer Lüfterlaufzeit von 24 Stunden folgende Ergebnisse (Bild 6):

- Temperaturdifferenzen bis 1 grad brachten einen unbedeutenden Temperaturrückgang von nur 0,1 grad
- Temperaturdifferenzen von 2 grad hatten eine Temperaturensenkung von 0,7 grad zur Folge
- bei einer Temperaturdifferenz von 3 grad konnte die Stapeltemperatur immerhin um 1,9 grad gesenkt werden.

Stehen nur die Außenlufttemperaturen zur Verfügung, ist zu berücksichtigen, daß die angesaugte Frischluft durch die Motorwärme des Lüfters erwärmt wird.

Die Erwärmung beträgt bei den Lüftern:

LANVR 500	1,0 ··· 1,8 grad
LANVR 630	0,5 ··· 0,8 grad
LAN 900/9	0,3 ··· 0,5 grad

In den Lüftungsanweisungen wird deshalb vorgeschlagen, die Zulufttemperatur und -feuchte direkt zu messen. Unter Beachtung der Luftfeuchte sind also Temperaturdifferenzen zwischen Zuluft und Stapel von 2,5 bis 4,0 grad anzustreben.

Damit stellt sich die Frage nach der optimalen Ausnutzung der Außenluftzustände. Wir können in der Lagerwirtschaft immer noch nicht auf ein Steuerungsorgan oder eine Regelungseinrichtung zurückgreifen. Leider sind wir da noch auf das ungenügende Temperaturempfinden des Menschen bzw. auf das ständige Beobachten des Thermometers und Hygrometers angewiesen. Bis uns die entsprechende Technik zur Verfügung steht, könnte man sich durchaus mit einem Kontaktthermometer behelfen, das bei Unterschreitung eines eingestellten Außentemperaturwertes ein optisches oder akustisches Signal auslöst. Dadurch erhält der Lüfterwart die Information, daß Lüften möglich ist. Über ein zweites Kontaktthermometer müßte das Ende der Lüftung signalisiert werden.

4. Einfluß verschiedener Einlagerungsverfahren

Eine weitere Voraussetzung für eine verlustarme Überlagerung ist die Qualität der Kartoffeln, ihre schonende Ernte und Einlagerung. Die gegenwärtig noch vorherrschenden Ernteverfahren, bei der die Kartoffeln vor der Einlagerung sortiert werden, führen im technologischen Ablauf zu einem

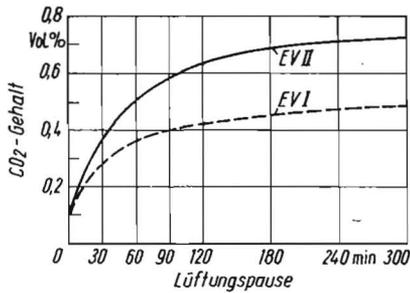


Bild 7
CO₂-Konzentration
im Kartoffelstapel
bei den Erntever-
fahren I und II
(EV I und EV II)

hohen Beschädigungsanteil. Allein auf der Erntemaschine werden zur Zeit im Mittel etwa 8 Prozent und bis zur Einlagerung weitere 10 Prozent der Knollen beschädigt. Damit vermindert sich nicht nur die Qualität des Lagergutes, sondern es werden auch Voraussetzungen für die Ausbreitung von Lagerfäulen geschaffen.

Bild 7 macht die CO₂-Entwicklung im Kartoffelstapel von 2 Vergleichssektionen deutlich, von denen die eine Partie —

Verfahren I — als Rohware eingelagert wurde. Bei der anderen Partie — Verfahren II — erfolgte eine Vorsortierung bereits im Herbst, so daß der Beschädigungsanteil dieser Kartoffeln bei der Einlagerung wesentlich höher lag als beim Verfahren I. Die mittleren Stapeltemperaturen betragen beim Ernteverfahren I 8,7 °C, und beim Ernteverfahren II 10,5 °C. Daraus wird deutlich, daß bei den im Herbst vorsortierten Kartoffelpartien insgesamt ein höherer Stoffwechsel stattfand, der zu einem stärkeren Temperaturanstieg im Stapel führte, als dies beim Verfahren I der Fall war. Die höheren Stapeltemperaturen — die mit auf die vermehrten Beschädigungen und den daraus resultierenden Fäulnisanstieg zurückzuführen sind — hatten einen bestimmten Einfluß auf die CO₂-Entwicklung. Im Vorlauf der Lüfterrube von 300 Minuten stieg die CO₂-Konzentration auf 0,73 Volumenprozent an. Beim Ernteverfahren I lagen die Stapeltemperaturen niedriger, hier erhöhte sich die CO₂-Konzentration nur auf 0,49 Volumenprozent.

Die Aussage ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung, denn der Verlust an Kohlenhydraten und Wasser führt zu dem wirtschaftlich bedeutsamen Masseverlust an Kartoffeln, den es einzuschränken gilt. Die neuen Ernteverfahren können ein Weg dazu sein. A 9558

Erfahrungen mit der Lüftungstechnik in Speisekartoffellagern mit loser Schüttung

Dipl.-Landw. R. Güldner, KDT, Ingenieurbüro für Lagerwirtschaft Obst, Gemüse, Speisekartoffeln, Groß Lüsewitz

1. Aufgaben der Lüftung

Die Lüftung von Kartoffeln hat zwei Hauptaufgaben zu erfüllen:

- Abführung der Atmungsprodukte der Knollen Wärme, Wasser und CO₂
- Verminderung der Ausbreitung von Knollenfäulen.

Die wichtigsten Faktoren zur Qualitätserhaltung — Vermeidung von Infektionsbedingungen, Förderung der natürlichen Abwehrkraft der Knollen (Wundheilung) und Minimierung des natürlichen Schwunds — stellen teilweise entgegengesetzte Anforderungen an die Klimatisierung eines Kartoffelstapels.

Hinzu kommt, daß die einzelnen Faktoren von Partie zu Partie und von Jahr zu Jahr unterschiedliche Bedeutung erlangen. Diese Tatsachen erschweren die optimale Auslegung und Bedienung der Lüftungstechnischen Anlagen.

2. Gegenwärtiger Stand der Lüftungstechnik und damit verbundene Probleme

Die zu etwa 65 Prozent der Gesamtlagerkapazität der DDR vorhandenen Haufenlager mit Drucklüftung über Unterflurkanäle mit 3 m Kanalachsabstand bei 4,5 bis 5 m Schütthöhe haben sich prinzipiell bewährt. Die überwiegende Lagerkapazität liegt zwischen 5 und 10 kt. In ihnen werden die Lagerverlustnormative erreicht und teilweise unterboten. Eine weitere Senkung der Lagerverluste auf ein Minimum erscheint ohne größere Rekonstruktionsmaßnahmen nicht möglich.

Folgende Probleme stehen einer optimalen Lagerklimagestaltung im Wege:

- Die Befülldauer eines Lagerraums ist zu lange, so daß entweder die Maßnahmen der Abtrocknung und Wundheilung nicht ausreichend durchgeführt werden zugunsten

einer raschen Abkühlung, oder bei ordnungsgemäßer Wundheilung lagern erhebliche Anteile des Lagergutes zu lange warm, was zu erhöhten Schwundverlusten und aufgrund erhöhter Austrocknung bei der folgenden intensiveren Abkühlung zu erhöhter Trockenfäule führen kann.

- Wegen fehlender Meßtechnik und Heizung kann eine optimale Wundheilung nicht immer erreicht werden.
- Bei höheren Frostgraden wird während längerer Perioden nicht gelüftet, da das notwendige Mischluftverhältnis nicht ermittelt werden kann. Das führt zu Anreicherungen von Feuchtigkeit, die die sekundäre Fusarium-Infektion begünstigt und den Übergang vorhandener Fusarium-Fäule in Naßfäule beschleunigt. Daraus resultieren häufig erhebliche Partiever schlechterungen bei oft unvermeidlichen Temperaturerhöhungen des Stapels im Frühjahr und Vorsommer.
- Die installierten Belüftungsanlagen mit relativ großen Fördermengen gestatten zwar eine weitgehende Austrocknung fauler Knollen, so daß auch bei höheren Fäulnisanteilen weitgehend trockene, unverschmierte Knollen ausgelagert werden. Das geht jedoch zu Lasten der Schwundverluste.

Die genannten ungünstigen Faktoren werden in vielen Lagern durch zunehmend verbesserte Anlieferungsqualitäten, durch die Erfahrung und hervorragende Einsatzbereitschaft des Lüftungspersonals überdeckt, sind aber entsprechend den unterschiedlichen jährlichen Bedingungen im Anbau und in der Lagerung niemals gänzlich zu umgehen.

Seit 1969, ausgehend von der Beispielanlage in Blumberg, wurden Sektionslager mit 10 kt Lagerkapazität errichtet, die heute etwa 25 Prozent der Gesamtlagerkapazität einnehmen. Durch die vielfache Unterteilung des Lagers in lüftungstechnisch getrennte Lagersektionen (rd. 600 t) mit ein-