

# Zur Bestimmung des Temperaturverlaufs bei der Lagerung von Trockengrüngut-Häcksel

Dipl. agr. S. PRUFER\*

Das häufige Entstehen von Hitzeherden in Lagerstapeln von Trockengrüngut-Häcksel in den Praxisbetrieben veranlaßte den Verfasser, die Entwicklung der Lagerungstemperatur und der Gutfeuchte während der Lagerung in einem Großversuch unter Praxisbedingungen zu untersuchen [1].

## Versuchsaufbau und -durchführung

Im LVG Groß-Stove wurde in der Zeit vom 13. bis 19. August 1968 ein abgeteilter Raum der Lagerscheune für Trockengut mit 18 t Trockengrüngut-Häcksel beschießt. Das Versuchsmaterial (Weidelgras) wurde auf dem Felde vorgewelkt und in einem Schrägrosttrockner getrocknet.

Das Ziel des Versuches — Charakterisierung der Entwicklung von Temperaturen und Gutfeuchte im Lagerstapel über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten — erforderte die Installation einer Vielzahl von Meßstellen im Lagerbereich, um eine möglichst große Meßfläche zu erfassen. Unter Berücksichtigung der geringen Wärmeleitahlen von Trockengut wurden dazu insgesamt 270 Temperatur- und 65 Feuchtemeßstellen auf einer horizontalen und einer vertikalen „Meßwand“ in festgelegtem Raster angeordnet (Bild 1).

Die Temperaturmessung erfolgte mit Eisen-Konstantan-Thermoelementen. Die mit einem Spiegelgalvanometer gemessenen Thermospannungen mußten in Grad Celsius umgerechnet werden, es ergaben sich ausreichend genaue Werte.

Die selbst gefertigten Feuchtigkeitsmeßfühler (Bild 2) wurden mit dem Fühlereingang eines „Neutron-Gerätes“ vom Typ 2339 verbunden. Eine Eichung der Fühler ergab Übereinstimmung mit der Empfindlichkeit des vom Geräte-Hersteller produzierten Fühlers.

Der Ausschlag auf der Skala des Meßgerätes ergibt nach Umrechnung mit Hilfe einer Eichkurve den Wassergehalt des Trockengutes. Starke Schwankungen der absoluten Meßwerte bei kurzen Zwischenzeiten (1 bis 2 Stunden) an den gleichen Meßstellen wiesen bereits bei den ersten Messungen auf die

Unzuverlässigkeit dieser Meßmethode hin. Besonders bei hoher Luftfeuchte gab es Meßfehler durch Absinken des Isolatorwiderstandes an Klemmstellen, die verstaubt waren und somit eine elektrische Brückenbildung ermöglichten.

Das Ablesen der Meßwerte erfolgte in Abständen von drei bis vier Tagen, bis das Absinken der Lagerungstemperaturen in Abhängigkeit von den Außentemperaturen begann. Nach Erkennen dieser Tendenz (Ende September) konnten die Zeiträume zwischen den Messungen auf acht bis zwölf Tage verlängert werden.

## Versuchsauswertung und Ergebnisse

Die Einzelmesswerte für Temperatur und Feuchtigkeit jeder Meßstelle wurden aus auswertungstechnischen Gründen über den einzelnen Meßtagen aufgetragen, da diese grafische Darstellung eine Einschätzung und Klassifizierung ermöglichen sollte.

Die erheblichen Schwankungen der Feuchtigkeitsmeßwerte an den verschiedenen Meßtagen, deren Ursache auf die Unzulänglichkeit des Meßsystems zurückzuführen ist, schlossen eine Klassifizierung und exakte Auswertung aus.

Die Temperaturverläufe zeigten dagegen geringere, auf Meßfehler und Ablesungenauigkeiten zurückführbare Schwankungen von 0,5 bis 1 °C. Die Einteilung der für die einzelnen Meßpunkte vorliegenden Temperaturen in vier „charakteristische Klassen“ bot sich an, sie erfolgte nach den in Bild 3 dargestellten Gesichtspunkten, das Ergebnis zeigt Bild 4.

Die Höhe des maximalen Temperaturwertes und der Zeitraum bis zu dessen Eintreten ( $T_u + T_{d1}$ ) stellen die Hauptkriterien bei der Klasseneinteilung der Temperaturen dar. In der Gruppe mit dem steilsten Temperaturanstieg wurde  $\vartheta_{max}$  im Zeitraum von 13 bis 15 Tagen erreicht, wobei die Anlaufzeit auf vier bis fünf Tage beschränkt blieb.

Bis auf eine Ausnahme zeigen die schematisch dargestellten Kurvenverläufe einen Anstieg der Lagerungstemperatur im Vergleich zur ersten Messung. In Abhängigkeit von der Außentemperatur sinken die Lagerungstemperaturen je nach Lage der Meßstelle im Stapel ab.

\* Sektion Landtechnik der Universität Rostock (Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. CHR. EICHLER)

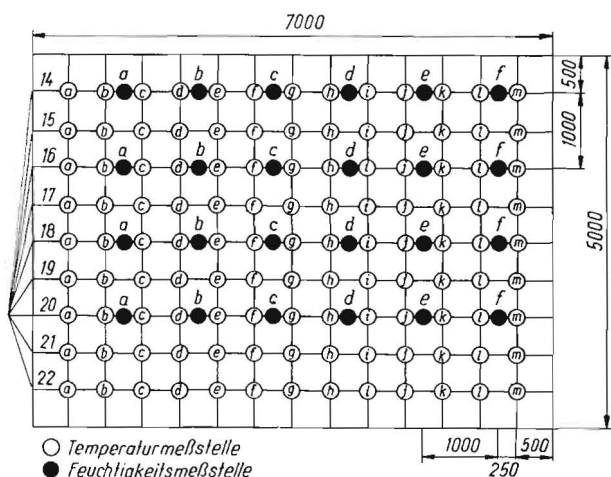


Bild 1. Anordnung der Temperatur- und Feuchtigkeitsfühler an der vertikalen Meßwand

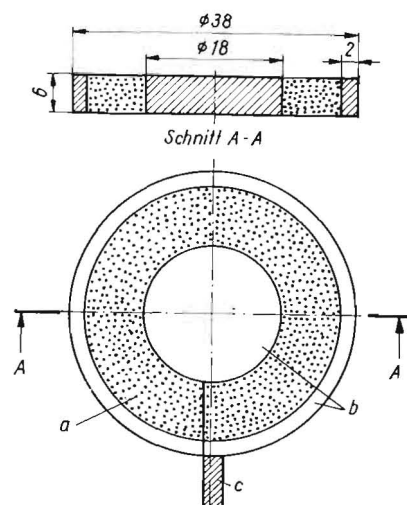


Bild 2. Aufbau der Feuchtigkeitsfühler; a Epoxydharz EPg, b Messing, c UKW-Flachband-Antennenleitung

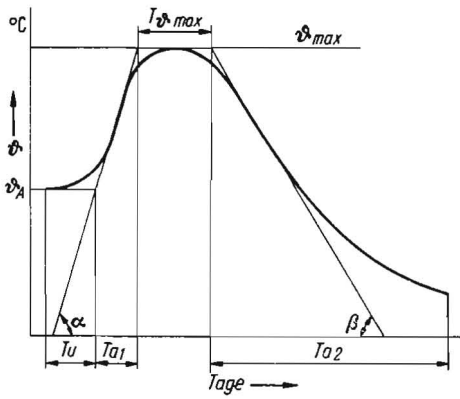


Bild 3. Schematische Darstellung der Temperaturentwicklung nach /2/;  $T_u$  Verzugszeit,  $T_{a1}$  Anlaufzeit,  $T_{a2}$  Abkühlungszeit,  $T_{\vartheta_{max}}$  Haltezeit,  $\vartheta$  Temperatur,  $\vartheta_A$  Einlagerungstemperatur,  $\vartheta_{max}$  ermittelte Höchsttemperatur

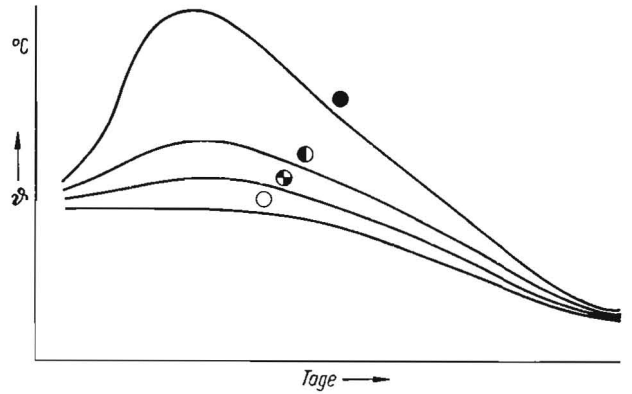


Bild 4. Einteilung der Temperaturverläufe in vier charakteristische Klassen (schematisch)

Nach der Einordnung der Temperaturverläufe der einzelnen Meßpunkte erfolgte eine Darstellung der Verteilung der klassifizierten Temperaturverläufe über den Meßwänden. Die an den Meßstellen der horizontalen Meßwand ermittelten Temperaturverläufe lassen sich mit Ausnahme einer Meßstelle in die Klassen mit geringem Temperaturanstieg einordnen. Die Klasse der Temperaturverläufe mit den absolut höchsten Temperaturen trat vorwiegend an den Meßstellen der vertikalen Meßwand in den oberen Schichten des Lagerstapels auf (Bild 5), wobei Temperaturen, die die Lagerfähigkeit gefährden ( $> 60^\circ\text{C}$ ), nicht gemessen wurden.

Die Meßreihe 14 ist aus den Betrachtungen auszuklammern, da sie nur teilweise von Trockengut berührt wurde und deshalb die unmittelbare Umgebungstemperatur anzeigte. Bei der dem Erdboden am nächsten liegenden Meßreihe 22 traten keine Temperaturanstiege auf.

Die Bilder 6, 7 und 8 veranschaulichen die Verteilung der Einlagerungs- und Höchsttemperaturen sowie der maximalen Feuchtigkeitswerte über der vertikalen Meßwand. Aus der Darstellung der Einlagerungstemperaturen (Bild 6) ist ersichtlich, daß sich zwei Bereiche erhöhter Temperatur herausgebildet haben. Ausgeschlossen sind die gesamte Meßreihe 18 und die Randschichten. Ein Vergleich der Einlagerungstemperaturen mit der Verteilung der klassifizierten Temperaturverläufe (s. Bild 5) ergibt, daß die Klasse mit den höchsten Temperaturanstiegen auch unabhängig von einer erhöhten Einlagerungstemperatur ( $24$  bis  $26^\circ\text{C}$ ) auftritt, woraus zu schließen ist, daß die Einlagerungstemperatur nicht den alleinigen Grund für einen weiteren Temperaturanstieg darstellt. Als weitere Faktoren sind die Feuchtigkeitsverteilung im Lagerstapel, die Lagerungsdichte und der Einfluß der Raumluft zu nennen.

Das Auftreten der höchsten Temperaturen unter der Oberfläche des Gutstapels in der Meßreihe 16 (Bild 7) weist auf einen intensiven Einfluß der Raumluft hin. Entgegen den Erwartungen stimmten die Zonen der maximalen Temperatur- und Feuchtigkeitswerte nicht überein. Die höchsten Feuchtigkeitswerte wurden in der Meßreihe 18 (Bild 8) ausgewiesen. Die Maximaltemperaturen traten also in einem Bereich geringerer Gutfeuchte etwa  $1\text{ m}$  unter der Oberfläche auf. Die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit trockenen und feuchten Gutes verhinderte einen sofortigen Temperaturengleich. Eine Angleichung der Temperatur- und Feuchtigkeitswerte in den benachbarten Meßreihen konnte erst nach einer Lagerzeit von sechs bis acht Wochen festgestellt werden.

Die Auswertung dieses Lagerungsversuches zeigt, daß bei der Lagerung von Trockengrüngut mit einem Temperaturanstieg von  $8$  bis  $15^\circ\text{C}$  gegenüber der Einlagerungstemperatur in den ersten drei Wochen der Lagerzeit zu rechnen ist, auch wenn das Gut mit dem in der TGL 80 22798 /3/ geforderten Trockensubstanzgehalt von  $86$  bis  $92$  Prozent ein-

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
15	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
16	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
17	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
18	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
19	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
22	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Bild 5. Verteilung der klassifizierten Temperaturverläufe über der vertikalen Meßwand nach /2/

gelagert wurde. Die Temperaturen sinken ohne Beeinträchtigung des Lagergutes nach Überschreiten der Haltezeit ab, sofern nicht den Temperaturanstieg begünstigende Faktoren auftreten. Diese Tendenz konnte durch Temperaturmessungen in Lagerstapeln von Trockengrüngut-Preßlingen der Trocknungsbetriebe Zingst und Groß-Stove bestätigt werden. Die Temperaturverläufe dieser Messungen entsprechen ebenfalls der in Bild 3 schematisch dargestellten Temperaturentwicklung.

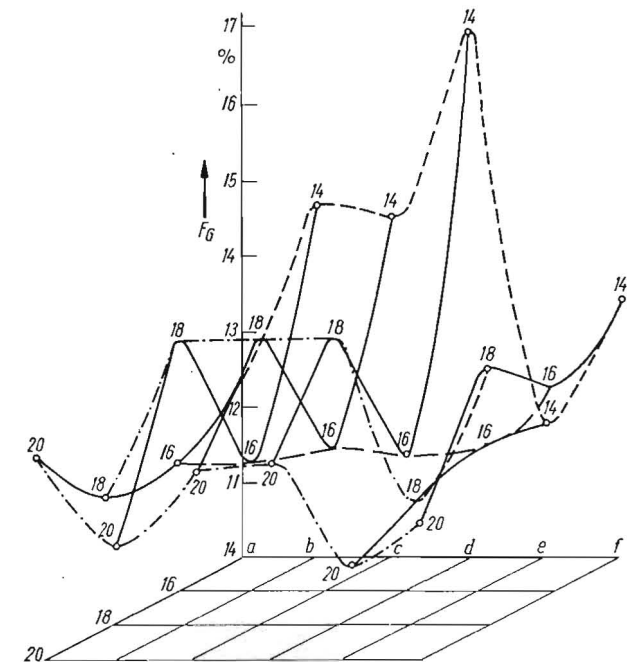


Bild 8. Verteilung der maximalen Feuchtigkeitswerte im Gut über der vertikalen Meßwand nach /2/

## Hinweise zur Lagerung von Trockengut für die Praxis

Eine verlustarme Lagerung des Trockengutes kann vor allem durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Einlagerung des Trockengutes mit einem Trockensubstanzgehalt von 86 bis 92 Prozent
- Wirkungsvoller Schutz vor Wiederbefeuchtung während der Lagerung
- Vermeiden von Entmischungsprozessen während der Einlagerung

Diese Grundsätze gelten für alle Verarbeitungsformen des Trockengutes. Der Abbau der Nährstoffe im Trockengut durch Mikroorganismen tritt ein, wenn der Wassergehalt des zu zersetzenden Materials 12 Prozent überschreitet [4]. Wird die geforderte Spanne des Trockensubstanzgehaltes eingehalten, sind Nährstoffabbau bzw. Verdaulichkeitsminderung der Hauptnährstoffe nicht bzw. nur in geringem Umfang zu erwarten [4] [5].

Nicht ausreichend getrocknete Partien mit einem Wassergehalt von mehr als 12 bis 14 Prozent oder Trockengut, das nicht wirkungsvoll vor einer Wiederbefeuchtung geschützt war, unterliegen dagegen mit Sicherheit mikrobiellen Abbauvorgängen. Das Auftreten von Hitzeherden und der Verderb größerer Partien sind die Folge.

Die Einlagerung des Häckselgutes mit Gebläsen begünstigt die Bildung von Hitzeherden, da sich die feuchten Stengelteile getrennt von den stärker getrockneten Blatteilen absetzen und dadurch die Lebensbedingungen der Mikroorganismen begünstigen.

Das Pressen des Trockengut-Häcksel im Nachbereitungstrakt der Trockenwerke vermindert das Lagerisiko zwar, entbindet den Praktiker aber nicht vom Einhalten der o. g. Forderungen.

Das sichtbare Verderben der Oberflächenschicht von Preßlinglagerstapeln vorwiegend in den Herbstmonaten weist beispielsweise auf die Bedeutung des Schutzes vor der Luftfeuchtigkeit hin. Andererseits läßt sich eine Kondenswasserbildung in der Oberflächenschicht durch luftdichte Abdeckung des Lagerstapels leicht nachweisen. Die Tatsache der Bildung einer Kondenswasserzone führt häufig zur Erwärmung in Lagerstapeln, die schichtweise in größeren Zeitabständen beschickt wurden.

Weiterhin ist eine möglichst abriebfreie Einlagerung der Preßlinge anzustreben, da die Temperaturleitfähigkeit des Lagergutes mit erhöhtem Anteil feiner Bestandteile abnimmt, wie WICKE und PETERS [6] bei Untersuchungen verschiedener Koksfraktionen feststellen konnten. Die Erhaltung einer möglichst hohen Temperaturleitfähigkeit des Lagergutes stellt eine Voraussetzung für das Abklingen der durch Selbsterwärmung entstandenen Temperaturen dar.

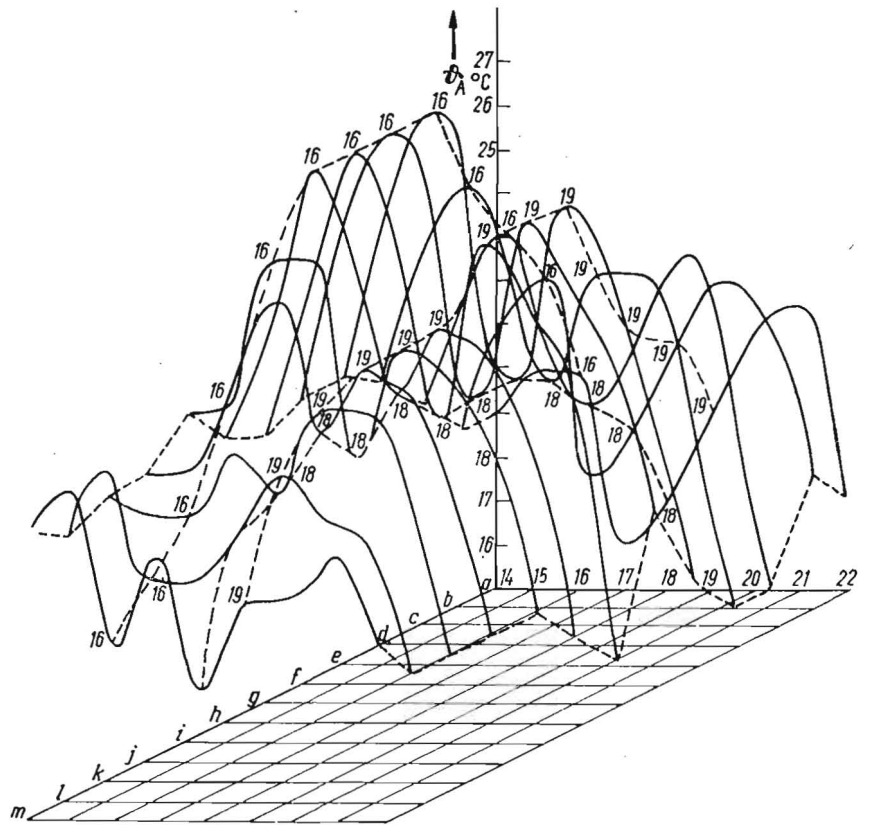


Bild 6. Darstellung der Einlagerungstemperaturen  $\theta_A$  über der vertikalen Meßwand nach [2]

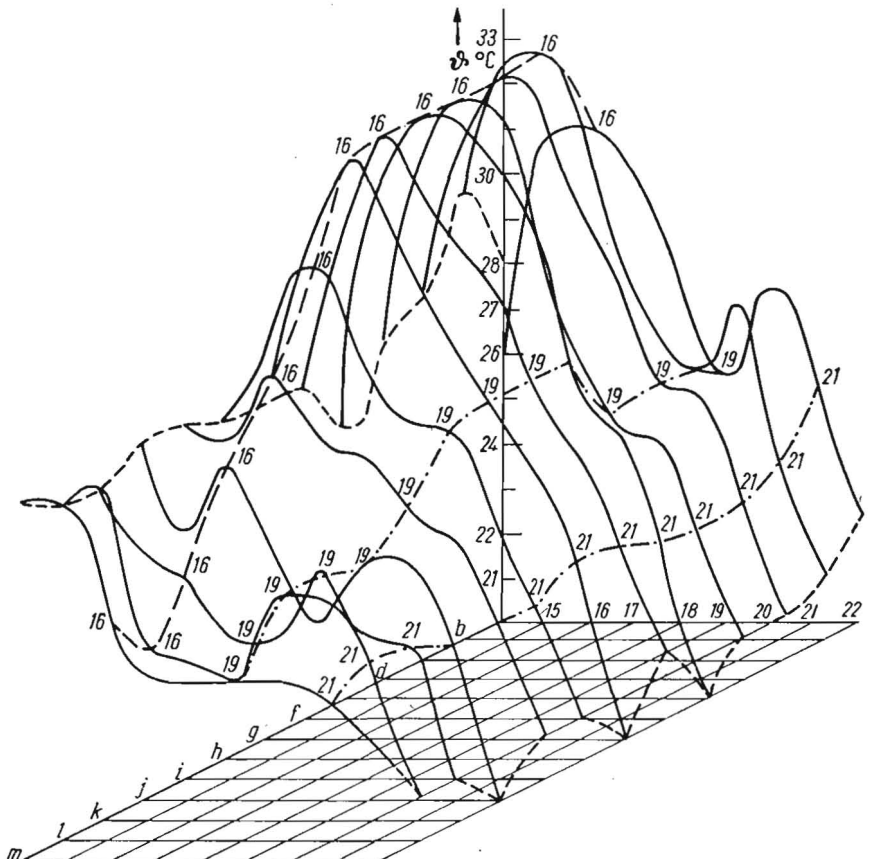


Bild 7. Darstellung der maximalen Temperaturmeßwerte über der vertikalen Meßwand nach [2]

Praktische Erfahrungen bei der Lagerung von Trockengrün- gut-Preßlingen ergaben, daß Preßlinge gegenüber der Häck- selform nur dann weniger zur Selbsterwärmung neigen, wenn sie ohne Abrieb eingelagert wurden.

### Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse eines Lage- rungsversuches mit Trockengrün- gut-Häcksel zur Charak- terisierung der Temperaturentwicklung im Lagerstapel disku- tiert.

Bei der Lagerung von Trockengut ist mit einer Erwärmung des Gutes innerhalb von drei Wochen nach der Einlagerung zu rechnen. Abschließend werden praktische Hinweise zur Lagerung von Trockengut gegeben.

### Literatur

- [1] PRUFER, S. / CHR. FÜLL: Lagerung von Trockengut. Abschluß- bericht zur Forschungsarbeit 1969. Sektion Landtechnik der Uni- versität Rostock (unveröffentlicht)
- [2] KLIEZ, H.: Auswertung von Lagerungsversuchen mit Trocken- grün- gut als Beitrag zur Bestimmung des Lagerverhaltens landwirt- schaftlicher Trocknungsgüter. Großer Beleg Sektion Landtechnik der Universität Rostock 1969 (unveröffentlicht)
- [3] -: Fachbereichsstandard „Trockengut“ – Trockengrün- gut TGL 80-22798 Blatt 1 und 2
- [4] LAUBE, W.: Lagerung und Einsatz von Trockengrün- gut. Die Deut- sche Landwirtschaft 14 (1963) S. 601 bis 604
- [5] HENK, G.: Untersuchungen über den Nährstoff- und Karotinabbau bei der Heißlufttrocknung von Grünfütter und die Lagerung von Trockengrün- fütter. Diss., DAL Berlin, 1967 (unveröffentlicht)
- [6] WICKE, M. / W. PETERS: Experimentelle Untersuchungen des Einflusses von Hohlraumstruktur und Körnung auf die Wärme- leitung in Haufwerken fester Brennstoffe. Z. Brennstoff- Chemie 4 (1968) A 8239

## Neuerer und Erfinder

## Patente zum Thema „Belüftungs- und Trocknungsanlagen“

WP 50 379 Klasse 45e, 25/08 Int. Cl. A 01 f  
ausgegeben: 20. September 1966

„Vorrichtung zum Belüften von lagernden Früchten,  
vorzugsweise Hackfrüchten“

Erfinder: SCHILDE, Riesa

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Belüften von in Mieten gelagerten Hackfrüchten. Durch das Belüften werden Lagertemperatur und Luftfeuchtigkeit beeinflusst, um die durch Mikroorganismen und biologische Vorgänge ent- stehenden Verluste einzuschränken. Das bisher meist ange- wendete wiederholte Öffnen und Schließen der Firstöffnungen und Mietenfenster erfordert viel manuelle Arbeit, die durch plötzlichen Frostbeginn noch erschwert wird.

Nach der Erfindung werden in den unteren Teil der Miete Belüftungsrohre *a* und in den oberen Teil Entlüftungs- rohre *b* (Bild 1) eingelegt. Die Rohre bestehen aus Teil- stücken mit einem konisch erweiterten Ende, die zur erfor- derlichen Länge ineinandergesteckt werden, so daß die Rohre an beiden Enden der Miete herausragen. Die Rohre sind auf einer Seite in Längsrichtung mit seitlichen Durchbrüchen *c* versehen, deren Eintritts- bzw. Austrittsöffnungen auf das konisch erweiterte Ende gerichtet sind.

Die konisch erweiterten Rohrenden sind der Windseite zu- gekehrt. Der Wind bläst durch die Rohre. Beim Belüftungs- rohr sind die seitlichen Durchbrüche nach oben gerichtet, so daß Frischluft das Lagergut durchströmt. Die mit Feuchtig- keit angereicherte Warmluft tritt durch die nach unten ge- richteten Eintrittsöffnungen in das Entlüftungsrohr ein und wird durch den Wind ins Freie geblasen.

Aus Isolationsmaterial bestehende Verschlüsse dienen zur Abdichtung der Rohre, um sie bei Frost oder zu hohen

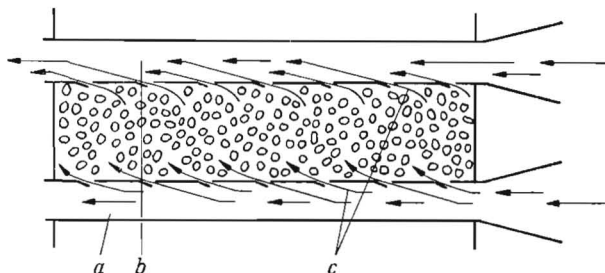


Bild 1. Vorrichtung zum Entlüften von Mieten

Außentemperaturen außer Funktion zu setzen. Durch Öffnen der Verschlüsse bei geeigneten Außentemperaturen wird ein optimales Lagerklima erreicht.

Brit. Patent 1.026.379 Int. Cl. F 26 b  
veröffentlicht: 20. April 1966

„Verfahren und Vorrichtung zum Trocknen von Getreide“

Inhaber: GILBERT COUTEAN, Frankreich

Die Erfindung betrifft einen Warmluft-Körnertrockner. Bei den herkömmlichen Körnertrocknern werden die Körner zu- nächst einem Warmluftstrom zum Entziehen der Feuchtig- keit und dann einem Kaltluftstrom zum Kühlen der Körner ausgesetzt. Die Warmluft wirkt dabei unmittelbar auf die äußere Hülle jedes Kornes ein. Hierdurch wird die äußere Schicht stark ausgetrocknet, während der Kern die Feuchtig- keit nur sehr langsam abgibt, zumal die Luft die getrocknete äußere Schicht ziemlich schwer durchdringen kann. Dies hat auf die Mahl- und Backeigenschaften des Kornes beträchtl-

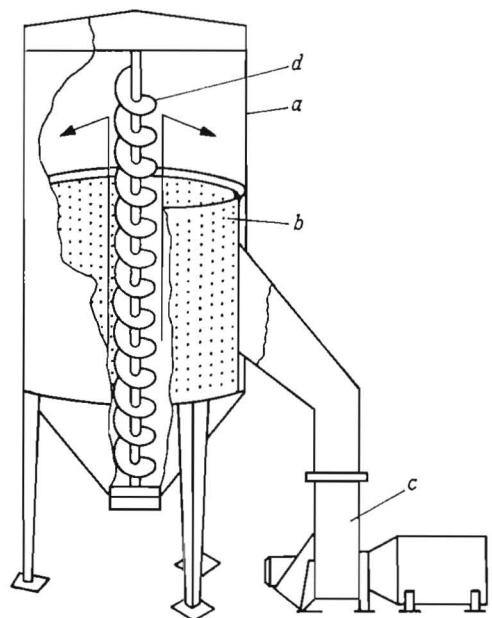


Bild 2. Warmluft-Körnertrockner