Kühltechnik

- *Technik für rieselfähige Güter*
- *Kühlgeräte*
- *Trocknungstechnik*
- *Warmlufterzeuger*
- *Silotechnik*
- *Fördertechnik*

business worldwide

Kühlung von Körnerfrüchten

Ein wesentlicher Faktor wirtschaftlicher und qualitätserhaltender Nacherntebehandlung

www.goldsaat.com

goldsaat® AGRARTECHNIK

***goldsaat* Kühlgeräte**

Inhaltsübersicht

- Ausgangssituation 3
- Wie es zur Kühlkonservierung kam ..... 3 - 4
- Mikroorganismenvermehrung eindämmen 4
- Natürliche Körnerfruchtbehandlung 4
- Selbsterhitzung ausschließen 5
- Insektenbefall verhindern 5
- Atmungsverluste senken 5
- Was ist Kornatmung? 6
- Verbreitung der Kühlkonservierung 7
- Alternative Körnerfruchtbehandlung 7
- Funktionsprinzip der Körnerfruchtkühlung ..... 8 - 9
- Begriffsabgrenzungen 9
- Sicherheitseinrichtungen moderner Kühlgeräte ..... 10 -11
- Lagerungsdauer verlängern 11
- Umlagerungen entfallen 11
- Richtigen Standort wählen 12
- Lagerräume richtig herrichten 12
- Kondensation über der Schüttung vermeiden 12
- Luftverteilungsvorrichtung für flache Läger 13
- Günstige Luftverteilvorrichtungen verwenden 14
- Luftverteilvorrichtungen für Silos mit Trichter 14
- Partiengröße sinnvoll wählen 14
- Schlussbemerkungen 15
- Literaturverzeichnis 15
- Impressum 15

***goldsaat* setzt auf Kühlung! Der Erfolg gibt uns Recht.**

Ausgangssituation

Forscher und Züchter haben die Qualität und den Eintrag von Körnerfrüchten auf ein sehr hohes Niveau gebracht. In vielen Ländern werden soviel Getreide und Ölfrüchte angebaut, dass der Markt durch Flächenstilllegungen reguliert werden muss. Um Erträge zu sichern, können daher nur qualitativ hochwertige Feldfrüchte vermarktet werden; und nur Qualität sichert überregionalen Absatz. Bei Getreide bedeutet Qualität, dass seine wichtigen Inhaltsstoffe für die Herstellung der Getreideendprodukte nicht geschädigt sind. Die Praxis aber sieht anders aus, denn die Risiken liegen bei der Nacherntebehandlung (3, 13, 23, 30). Hier werden große Einbußen verzeichnet.

Die häufigsten Gründe dafür sind die, dass nach dem Abernten der Feldfrüchte und dem Einbringen ins Lager, wichtige Pflegemaßnahmen außer acht gelassen werden (3, 13, 30). So sind oft ungenügende Vorbereitungen der Läger, mangelnde Sorgfalt während der Lagerung oder die Anwendung zweifelhafter Verfahren (3, 15, 25, 26) die Ursache. Auch Unkenntnis in der Behandlung gelagerter Körnerfrüchte wird vorgefunden. Unter Qualität von Getreide versteht man seine Menge und den Zustand seiner wichtigen Inhaltsstoffe. Mengenbezogene Kriterien wie Protein-, Kleber-, Stärke- und Wassergehalt, sind durch die Angabe des „Gehaltes“ gekennzeichnet und primär kaufmännische Merkmale. Als qualitative Merkmale werden Sedimentationswert, Kleberstruktur, Verkleisterungseigenschaften und die Aktivität des Wassers (a_w-Wert) gewertet (13, 14). Diese Eigenschaften können sich während der Lagerung negativ verändern.

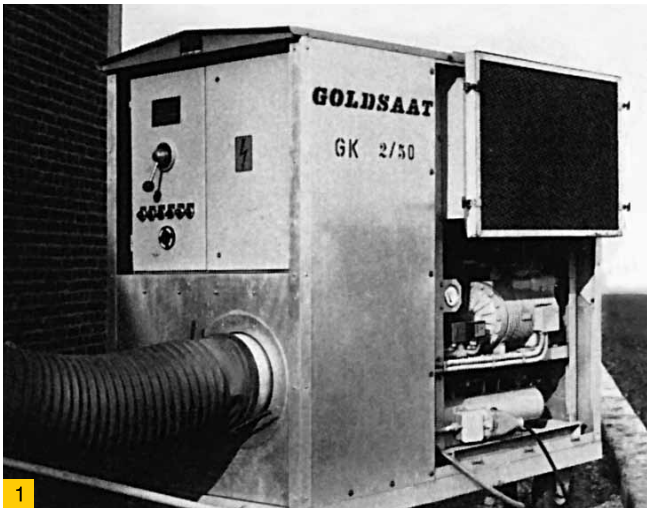
Auf die Qualität einflussnehmende Kriterien sind:
Feuchtigkeit, Temperatur und Zeit (13, 14), Während der Faktor Zeit bei der Lagerung nur durch Weiterverarbeitung oder -verkauf beeinflussbar ist, hat der Lagerhalter bei den Faktoren Feuchtigkeit und Temperatur die Möglichkeit, Einfluss zu nehmen: Und zwar durch Verringerung der Feuchte mit Hilfe der Trocknung und Absenkung der Temperatur durch Kühlung mit kompakten, mobilen Kühlgeräten.

Wie es zur Kühlkonservierung kam

Das Verfahren der Konservierung von Getreide durch eine Kältemaschine wurde vor fast genau 40 Jahren vorgestellt (1). Schon damals wurde das Absenken der Kornfeuchte als wichtige Begleiterscheinung eines Kühlvorgangs hervorgehoben (1). Damals waren jedoch die Voraussetzungen für einen größeren Einsatz nicht gegeben: Zum einen waren die Erntebedingungen anders - der Mähdreschereinsatz war noch nicht so verbreitet -, zum anderen hemmten konstruktive Merkmale eine schnelle Ausbreitung der „Point froid“ – Methode (1). Zehn Jahre später herrschten andere Verhältnisse. Der Einsatz von Mähdreschern sorgte nun für eine schnelle Ernte und brachte dadurch die Lagerhalter in Bedrängnis. Es musste viel Getreide, z.T. mit hohen Feuchtegehalten, bis zum Trocknungsprozess zwischengelagert werden. Das war ohne Kälte nicht möglich.

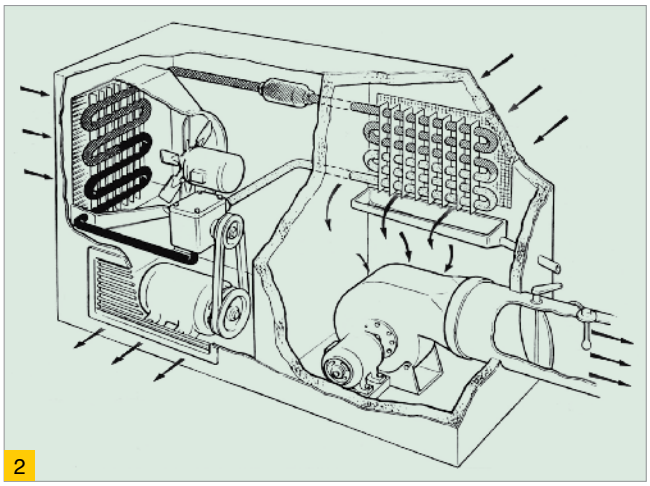
In der Bundesrepublik begann das Kühlverfahren – nach Abschluss der Grundlagenforschung durch das Institut für Landtechnik in Bonn, die Bundesforschungsanstalt für Getreideverarbeitung in Detmold und das Institut für landwirtschaftliche Botanik der Universität Bonn – Anfang der 60er Jahre seinen Siegeszug. Während es damals in der Bundesrepublik nur einen Hersteller von Körnerkühlgeräten gab (der zweite kam erst 1965 hinzu), waren im Jahre 1966 bereits sieben Anbieter solcher Geräte auf dem britischen Markt (8). Das damalige primäre Ziel war stets die Kühlung von zwischengelagertem feuchten Getreide. **Abb. 1** zeigt ein Kühlgerät aus frühen Jahren.

Bereits zu Beginn des Kühlverfahrens wurde Wert auf konditionierte (der Getreidefeuchte angepasste) Kaltluft gelegt. Deshalb wurde der Ventilator hinter dem Verdampfer angeordnet, wie es **Abb. 2** zeigt (8). Solche Kühlgeräte wurden als „combine chiller and dryer“ angeboten und als „low cost system“ erkannt (8). Sie verdrängten das bis dato gebräuchliche Belüften und die Lagerbelüftungstrocknung (6) (**siehe Abb. 9**) durch eine Vielzahl von Vorteilen einer effizienten Körnerfruchtbehandlung mit konditionierter Kaltluft.
(Die Lagerbelüftungstrocknung wurde erst ein viertel Jahrhundert später wiederentdeckt und erlebt nach der Öffnung der Grenzen zum Osten eine Renaissance.)



1

Abb. 1 Ein Kühlgerät aus frühen Jahren mit einer Tagesleistung von 70 t



2

Abb. 2 Prinzipielle Darstellung eines der ersten Kühlgeräte britischer Bauart (8)

3

Abb. 3 Ein Kühlgerät GK 160 NHDe kühlt ein Kartoffellager im Umluftbetrieb

Heute wird weitaus mehr trockenes als feuchtes Getreide gekühlt. Trotz lagerungsstabiler Feuchte gibt nur eine niedrige Lagerungstemperatur einen sicheren Schutz vor Pilzvermehrung, Insektenfraß, verstärkter Kornatmung und damit verbundenen Subtanzverlusten. Körnerfruchtkühlgeräte kühlen heute in aller Welt nicht nur Getreide, sondern auch alle anfallenden körnigen Feldfrüchte, vor allem Ölfrüchte, wie Raps, Sonnenblumenkerne, Erdnüsse, Sojabohnen und andere Produkte, wie empfindlichen Mais, Leguminosen und Futterpellets – siehe **Abb. 24**. Während solche Güter vorwiegend nach dem Prinzip der losen Schüttung gekühlt werden – hierbei wird eine Durchkühlung des Gutes bis zum Korninneren sichergestellt-, wird das Verfahren bei Halbfertigerzeugnissen der Lebensmittelindustrie sowie bei Obst, Gemüse, Zwiebeln, Kartoffeln und Pilzkulturen, im Umluftverfahren angewendet. Auf diese Weise werden auch Gebäck und Schokoladenerzeugnisse bei Transportunternehmen gekühlt. **Abb. 3 - Seite 3** zeigt ein Kühlgerät **GK160 NHDe** beim Kühlen eines Kartoffellagers im Umluftbetrieb.

Mikroorganismenvermehrung eindämmen

Mikroorganismen und verschiedene Pilzspezies stellen bei der Lagerung von Körnerfrüchten eine häufig unterschätzte Gefahr dar. Es gibt zwei unterschiedliche Typen von Pilzen. Und zwar solche, die das Getreide während des Wachstums auf dem Feld befallen und andere, die sich während der Lagerung entwickeln (5, 12, 31). Dabei ist zu bemerken, dass auch in Gebieten mit vermeintlich günstigen klimatischen Bedingungen eine große Verbreitung von Pilzbefall beobachtet wird (30).

Eine Ausweitung von Lagerpilzen ist gegeben, wenn die Voraussetzungen für ihre Entwicklung erfüllt sind. Dazu bedarf es wenig: Ausreichende Wasseraktivität und hohe Temperaturen ergeben, neben dem entsprechenden Säuregehalt, ein reichhaltiges Nahrungsangebot und bilden damit ein ideales Umfeld für die Lebensentwicklung von Pilzfamilien (5, 12, 31). Und falsche Behandlungsmethoden bei der Nacherntebehandlung begünstigen solche Entwicklung im Lager erheblich (3, 15, 23), wie es **Abb. 6** anschaulich zeigt. Pilze verursachen große Keimschädigungen, weil sich das Myzel nicht nur oberflächig ausweitet, sondern auch in das Korn hineinwächst, und sie forcieren stark die Selbsterhitzung eines Kornstapels (12, 31). Auf der **Abb. 4** sind Entwicklungsbereiche von verschiedenen Pilzgruppen nach Lacey et al. (12) aufgezeichnet. Die am häufigsten vorkommende Art von Lagerpilzen ist die Aspergillus-Gruppe. Ihre Entwicklungsbereiche sind auf **Abb. 4** in den mit den Zahlen 4, 5 und 8 gekennzeichneten Feldern zu finden. Besonders gefährlich ist dabei die Bildung von pilzlichen Stoffwechselprodukten (Mykotoxinen), die sich weder durch Reinigung noch durch Erhitzung beseitigen lassen, so dass die Gefahr, dass Giftstoffe in Getreideendprodukten gelangen, sehr groß ist (5, 12, 15, 23, 31). Mykotoxine verursachen vor allem schwere Schäden an Leber, Nieren und zentralem Nervensystem bei Mensch und Tier. So bilden zum Beispiel die Schimmelpilzspezies Aspergillus flavus und Aspergillus restrictus den bekanntesten Giftstoff, das Aflatoxin (12, 15, 31).

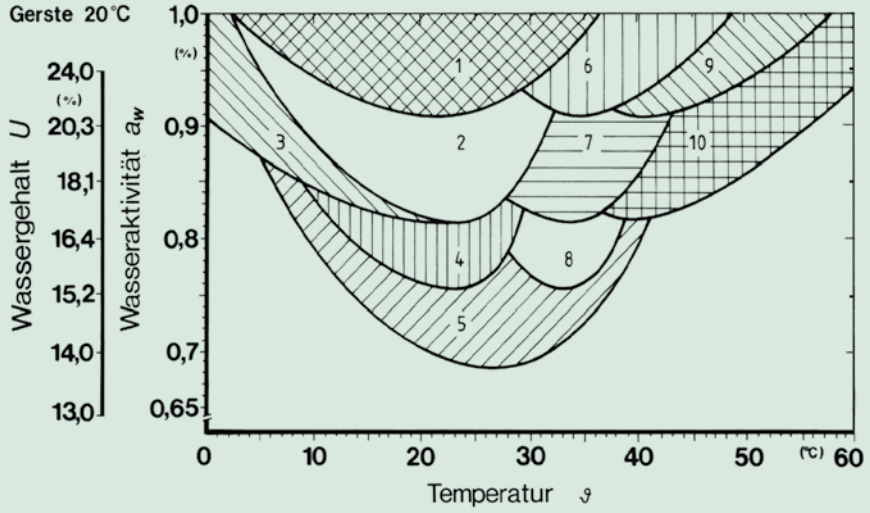
Man kann pilzliche Stoffwechselprodukte nicht beseitigen, sondern nur ihrer Bildung entgegenwirken (12, 31). Das Absenken der Lagerungstemperatur in der Schüttung durch Kühlung ist dafür eine wirksame Maßnahme.

Natürliche Körnerfruchtbehandlung

Kühlung ist natürliche Körnerfruchtbehandlung. Trotz der enormen Ausweitung der Anwendung des Kühlverfahrens, bleiben aber primär gekühlte Produkte nach wie vor Getreide und Ölfrüchte.

Tiefe Lagerungstemperaturen senken die Risiken der Körnerfruchtlagerung auf ein Minimum. Es ist bekannt, dass es bei kalter Witterung, im Herbst oder Winter, bedeutend weniger Lagerungsprobleme gibt als kurz nach der Ernte. Kühlung kann als eine Vorverlegung der kalten Jahreszeit in den Sommer angesehen werden, also als ein künstlich herbeigeführter und vorverlagerter, natürlicher Abkühlprozess zur Erhaltung der guten Erntequalität. Niedrige Korntemperaturen hemmen die Entwicklung von Schadinsekten, verhindern die Ausbreitung von Schimmelpilzen und reduzieren die Kornatmung.

Entwicklungsbereiche verschiedener Pilzfamilien im Lager in Abhängigkeit von Temperatur & Wasseraktivität.



1 = Fusarium culmorum, Scopulariopsis brevicaulis, Rhizopus nigricans, Mucor racemosus
2 = Penicillium corylophilum, Penicillium rugulosum, Penicillium frequentans
3 = Chrysosporium pannorum, Penicillium cyclopium, Penicillium viridicatum
4 = Aspergillus versicolor
5 = Aspergillus glaucus, Aspergillus restrictus, Wallemia sebi
6 = Absidia, Rhizopus arrhizus, Streptomyces griseus
7 = Paecilomyces varioti, Penicillium capsulatum, Penicillium piceum
8 = Aspergillus candidus, Aspergillus flavus, Aspergillus nidulans
9 = Mucor pusillus, Malbranchea, Thermoascus crustaceus, Streptomyces albus
10 = Humicola lanuginosa, Talaromyces thermophilus, Thermoactinomyces vulgaris, Micropolyspora faeni, Saccharomonospora viridis

4

Selbsterhitzung ausschließen

Besonders feuchtes, nicht gekühltes oder bei hohen Temperaturen belüftetes Getreide neigt zur Selbsterhitzung. Erwähnte Begleiterscheinungen, wie Mikroorganismen, Pilze, Hefen und Schadinsekten, sowie hohe Staubanteile und beschädigte Körner, fördern diese Entwicklung. Sie tragen dazu bei, biochemische Umsetzungen zu intensivieren. Entscheidend sind aber in erster Linie Feuchtigkeit und Temperatur der Körner. Dass Temperaturveränderungen in Getreideschüttungen schlecht erkannt werden, ist der starken isolierenden Eigenschaft des Getreides zuzuschreiben. Diese Eigenschaft hat Vor- und Nachteile. Vorteilhaft ist, dass ein gekühltes Haufwerk sich nur sehr langsam erwärmt. Der Nachteil dieser schlechten Wärmeleitfähigkeit besteht aber darin, dass warme Stellen – sogenannte Wärmenester – sich in einer Schüttung verstärken und ausbreiten können, ohne dass sie bemerkt werden. Ergreift man nicht rechtzeitig Gegenmaßnahmen, kann die Erhitzung zur Selbstentzündung führen.

Erhitzungsvorgänge im lebenden Organismus Getreidekorn verursachen große Schäden. Neben der Zerstörung seiner wichtigen Inhaltsstoffe verliert selbsterhitztes Getreide seine Keimfähigkeit. Es kann auch nicht mehr dem Weiterverarbeitungsprozess zugeführt werden, wenn es mit pilzlichen Giftstoffen durchsetzt ist. Auch das Lagerpersonal ist bei hitzegeschädigten Getreidepartien aufs äußerste gefährdet, wenn es z.B. eine mit Mykotoxinen kontaminierte Partie auslagert und dabei die in der Luft befindlichen Sporen einatmet. Darüber hinaus besteht auch für die nachfolgende Lagerungssaison eine große Gefahr, wenn Lagerräume, in denen geschädigte Körnerfrüchte gelagert wurden, nicht vollständig gereinigt werden. Reste von verdorbenen Körnern bilden ideale Infektionsherde (16).

Einmal gekühlte Ware erwärmt sich, wenn überhaupt, nur sehr langsam. In der Praxis könnten hitzegefährdete Partien nur durch Kühlung vor dem sicheren Verderb bewahrt werden.

Insektenbefall verhindern

Trockenes Getreide wird heute nicht nur gekühlt, um Atmungsverluste zu verringern. Ein wesentlicher Grund der Temperaturabsenkung ist der, einen sicheren Schutz vor Insektenvermehrung und –fraß zu erhalten, denn Insektentätigkeit führt ebenfalls zu erheblichen Substanzverlusten.

In **Tabelle 2** sind Entwicklungs- und Schutztemperaturen der am häufigsten vorkommenden Vorratsschädlinge aufgeführt. Diese Auflistung der Parasiten erfolgt nach neuer Literatur (10, 16). Die hier gezeigten Optimal- und Minimaltemperaturen weichen wesentlich von denen in früheren Veröffentlichungen ab. Die optimale Entwicklungstemperatur liegt durchschnittlich bei 28ºC. In der Praxis werden solche Temperaturen häufig vorgefunden!

Eine Begleiterscheinung der Aktivität und Vermehrung von Lagerparasiten, ist der damit verbundene Anstieg der atmungsintensivierenden und pilzvermehrenden Parameter Temperatur und Feuchte (16). Sie verändern sich rasch, so dass es dabei zu unkontrollierbaren Entwicklungen aller wärme- und feuchtebildenden Faktoren kommt (16).

Weil sich diese Begleitumstände gegenseitig aktivieren, verderben die betroffenen Partien sehr schnell. Dagegen stellen Lagerschädlinge ihre Aktivität in einer gekühlten Schüttung ein. Kälte paralysiert solche Spezies, so dass sie in eine Art von „Winterschlaf“ fallen. Eine dafür sichere Schutztemperatur beginnt schon bei 13ºC, wie es **Tabelle 1** zeigt.

Gekühltes Korn ist damit vor Verlusten durch Insektenvermehrung und- fraß geschützt und auch vor Eiablage sicher, so dass umweltschädigende chemische Behandlungen, wie z.B. Begasen, entfallen können.

Atmungsverluste senken

Geerntetes Korn lebt nach dem Drusch weiter. Besonders bei feldfrisch gelagerten Körnerfrüchten sind Nachreifprozesse in Form von Wasserwanderungen zu beobachten. Das Haufwerk wird aktiv und zeigt durch Schwitzen an, dass es atmet. Kornatmung kann die Qualität von gelagerten Körnerfrüchten durch heftige Reaktionen stark beeinträchtigen. Beeinflussungsfaktoren der Kornatmung sind in erster Linie – wie bei der Getreidequalität – Feuchte, Temperatur und Lagerungszeit (15, 20, 21).

Darüber hinaus beeinflussen Größe, Oberfläche, Art und Reifezustand des Korns, Verunreinigungen und Beimengungen in der Schüttung, anhaftende Pilze, Hefen und Bakterien, Beschädigungen der Körner, Bruchkornanteile und auch das Verhältnis von Endosperm zu Embryo die Intensität der Atmung. Durch Kornatmung erhöht sich nicht nur die Temperatur in der Kornmasse, sondern auch die Wasseraktivität innerhalb der Körner (15, 20, 21).

Entwicklungs- und Schutztemperaturen von Vorratsschädlingen

Trivialname	Spezies	Optimale Entwicklungstemperatur	Schutztemperatur	Maximale Vermehrungsrate pro Monat
Getreidekapuziner	Rhizopertha dominica (F.)	28 °C	23 °C	20 x
Getreideplattkäfer	Oryzaephilus surinamensis (L.)	30 °C	21 °C	50 x
Getreidemotte	Sitotroga cerealella (Oliv.)	28 °C	16 °C	50 x
Khaprakäfer	Trogoderma granarium (E.)	31 °C	24 °C	12,5 x
Kornkäfer	Sitophilus granarius (L.)	28 °C	15 °C	15 x
Leistenkopfplattkäfer	Cryptolestes pusillus (Schön.)	31 °C	22 °C	10 x
Mehlmotte	Ephestia kuehniella (Z.)	26 °C	10 °C	50 x
Reiskäfer	Sitophilus oryzae (L.)	28 °C	17 °C	25 x
Rotbrauner Reismehlkäfer	Tribolium castaneum (Herbst.)	33 °C	22 °C	70 x
Speichermotte	Ephestia elutella (Hübn.)	25 °C	10 °C	15 x

Tabelle 1: Entwicklungs- und Schutztemperaturen von Vorratsschädlingen (10)

Was ist Kornatmung?

Kornatmung ist ein biochemischer Prozess, der einen Abbau von Substanz im gelagerten Korn bewirkt, also den Schwund von Trockenmasse. Zum Schutz des Keimes werden im Korn enthaltene Kohlenhydrate, Zucker und Stärke unter Aufnahme von Sauerstoff in Kohlendioxyd und Wasser zerlegt, wobei Wärme frei wird. Durch geringe Sauerstoffzufuhr und Überschuss an Kohlendioxyd wird die Kornatmung verringert. Weil in einer reagierenden Schüttung Sauerstoff verbraucht wird, wird die chemische Verbrennung schwächer. Deshalb verringert sich die Wärmeproduktion oberhalb von 30 ºC und fällt leicht ab (15, 20, 21), wie auf **Abb. 5** zu sehen.

Dieses Diagramm zeigt die Atmungswärme Q in Abhängigkeit von der Korntemperatur und den Wassergehalt eines Haufwerkes, nach dem Jouin (11). Je höher der Wassergehalt im Korn und je fester der Stapel ist, um so höher ist die Atmungsintensität (15, 20, 21).

Die Gefährdung eines Kornhaufens beginnt oberhalb eines Wassergehaltes von 14%, was einer Wasseraktivität von a_w=0,65 entspricht (14). Durch die starke Isolationseigenschaft des Getreides werden Wasserwanderungen in Körnern und Haufwerken oft zu spät erkannt. So beginnen z.B. erste Keimschädigungen bei unbelüftetem, bei 22 ºC gelagertem Getreide und einem Wassergehalt von 20%, schon nach dem dritten Tag. Und bis zum sechsten Tag sind bereits 40% der Körnerfrüchte in ihrer Keimfähigkeit geschädigt. Auf 10 ºC gekühltes Getreide mit 20% Wasseranteil lässt sich dagegen mehrere Wochen ohne Beeinträchtigung der Qualität zwischenlagern (**siehe Tabelle 3 - Seite 11**).

Bei der Veratmung produzieren 1 kg veratmete Getreidesubstanz und 1,2 kg Sauerstoff, 1,54 kg Kohlendioxyd, 0,58 kg Wasser und 15063 kJ Wärme. Oder anders ausgedrückt: 0,058 % Atmungsfeuchte, 7,2 K (ºC) Temperaturerhöhung im Korn und 1,58 kg (0,78m,³) Kohlendioxyd entstehen, wenn nur 0,1 % Getreidesubstanz veratmet wird (20, 21). Am bemerkenswertesten ist hierbei der enorme Temperaturanstieg! Mit Hilfe dieser Zahlen und dem Diagramm aus **Abb. 5** lassen sich Masseverluste von gelagertem Getreide berechnen. Ein solches Berechnungsbeispiel ist in **Tabelle 2** aufgeführt.

Für die Berechnung wurden 1000 Tonnen Weizen mit einem Wassergehalt von 15% und einer Lagerungsdauer von 30 Tagen herangezogen. Zum Vergleich wurden ungekühlte Haufwerke mit 35 ºC und 25ºC Lagerungstemperatur, eine bei 20ºC belüftete Schüttung und auf 10ºC gekühlte Ware gegenübergestellt.

Wenn man davon ausgeht, dass bei 15% Kornfeuchte oft belüftetes Getreide gelagert wird, so betragen die Masseverluste – und das ist wertvolle Trockensubstanz und kein entwichenes Wasser (!) – bereits das viereinhalbfache gegenüber auf 10ºC gekühlter Ware! Und vergleicht man gekühltes Lagergut mit einem 35ºC warmen Getreidehaufen, so sind die Verluste mindestens zweiunddreißigmal höher.

Es muss hier darauf hingewiesen werden, dass die aufgezeigten Verluste wirklich nur das Minimum sind, denn stark steigende Temperaturen und Feuchten fördern die Vermehrung von Schadinsekten. Lagerungsverluste durch Veratmung werden in der Praxis viel zu wenig beachtet.

Schwund von wertvoller Getreidesubstanz wird allzu oft mit der Verdunstung von Wasser gleichgesetzt und als unvermeidbar hingenommen. Das braucht nicht zu sein. Es sollte Getreideeinlagern bewusst werden, dass solche Verluste durch Kühlkonservierung bis zu 90% gesenkt werden können.

Lagerungstemperatur ϑ	Masseverlust m (kg) durch Veratmung nach	
	30 Tagen	90 Tagen
	5.760	15.840
25 °C		1.490
20 °C		820
10 °C		**180**

Tabelle 2: Atmungsverluste nach 30 und 90 Tagen Lagerungsdauer von 1000 Tonnen ungekühltem und gekühltem Weizen mit einem Wassergehalt von 15%

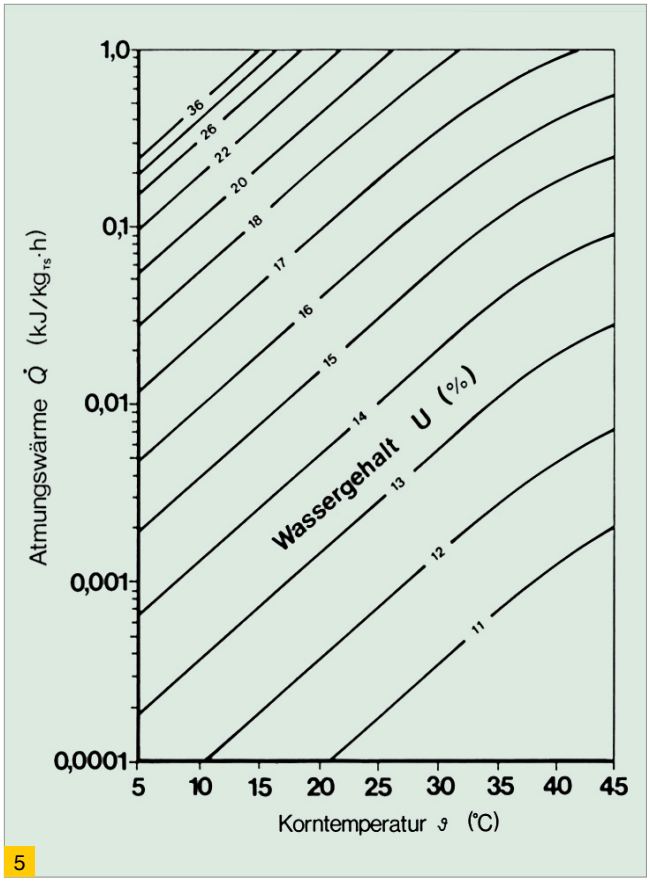


Abb. 5 Atmungswärme in Abhängigkeit von Korntemperatur und Wassergehalt (11)

Abb. 6 „Leicht" verfahrensgeschädigtes Getreidehaufwerk in einem flachen Lager. Der Schimmelbefall an Korn und Wand ist deutlich zu sehen.

Verbreitung der Kühlkonservierung

Die Anwendung der Kühlung von Körnerfrüchten hat in den letzten Jahrzehnten weltweit sehr stark zugenommen. Das beweist nicht nur qualitätsbewusstes und wirtschaftliches Denken, sondern auch ein gestiegenes Umweltbewusstsein. So hat sich sogar in den USA – wo bisher nicht gekühlt wurde, weil man klimatisch begünstigt zu sein glaubte – nach dem bekannten „Maisdebakel“ von 1988/89 (22) eine andere Meinung etabliert, wie ein kürzlich veröffentlichter Bericht zeigt (2).

Auch in der ehemaligen Sowjetunion ist Kühlung von Körnerfrüchten nicht unbekannt. Es seien hier z.B. Studien über erfolgreiche Kühlkonservierung von Reis erwähnt (17, 19). Jedoch kann die beschriebene Durchführung, trotz bester Ergebnisse, nicht auf unsere Verhältnisse übertragen werden, weil Installation und Anwendung so kostenintensiv betrieben wurden, dass es bei uns von wirtschaftlichem Standpunkt in solcher Form nicht zu vertreten wäre.In der ehemaligen DDR war Kühlung zwar bekannt, sie wurde jedoch nur selten angewendet, weil dort das Belüften mit nicht gekühlter Luft Stand der Technik war (29), wie auf **Abb. 8** zu sehen.

So sind auch Empfehlungen in neuesten wissenschaftlichen Veröffentlichungen (18) zu werten, die zur Erlangung von Lagerungsstabilität bei Körnerfrüchten dahin gehen, einen zusätzlichen, weitaus teureren Trocknungsvorgang durchzuführen. Dazu wird das Korn erhöhter Bruchgefahr durch Übertrocknung ausgesetzt. Richtig wäre die Lagerungstemperatur durch kostengünstige Kühlung um einige Grade abzusenken. Der Energiebedarf für das Kühlen von einer Tonne Getreide liegt – je nach Luftdurchsatz, Produktzustand und klimatischen Bedingungen – lediglich zwischen 2,5 und 5,0 Kilowattstunden.

Um Kosten transparent aufzuführen, bedarf es entsprechender Bezüge und der Einbeziehung praxisgerechter Verhältnisse, mit allen kostenbeeinflussenden Faktoren. Das ist ein eigenständiges Thema und würde den hier vorgegebenen Rahmen sprengen. Die gesamte Kostenthematik soll deshalb ausgeklammert und zu einem späteren Zeitpunkt behandelt werden.

Hier sei lediglich darauf hingewiesen, dass der einmalige Anschaffungspreis eines Kühlgerätes bei richtiger Auslegung nur ca 5% des Wertes des eingelagerten Gutes ausmacht. Die Verluste bei nicht gekühlter Lagerung betragen dagegen fast das Doppelte des Einstandspreises des Kühlgerätes, wie es die Grafik auf **Abb. 7** zeigt.

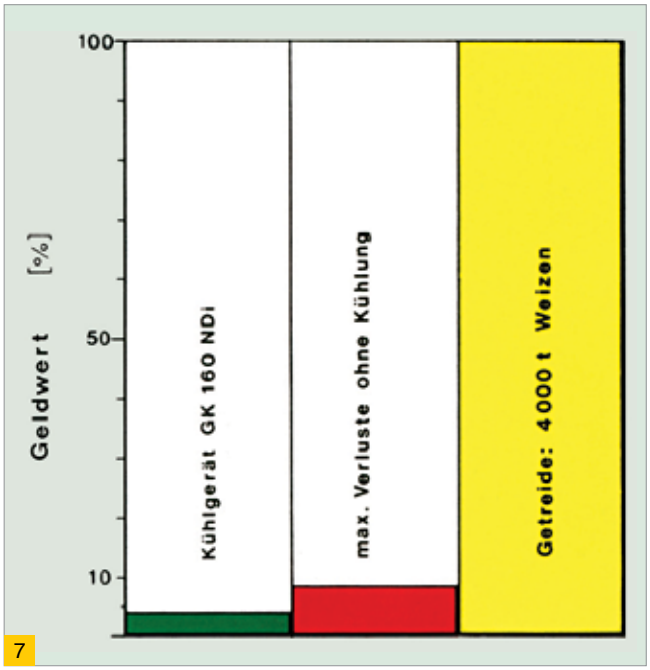


Abb. 7 Gegenüberstellung des Geldwertes von gelagertem Weizen, passendem Kühlgerät und möglichen Verlusten bei ungekühlter Lagerung. (Erfahrungen von Anwendern der Kühlung).

Abb. 8 Belüftungsanlage für flache Lagerung in der ehemaligen DDR

Alternative Körnerfruchtbehandlung

In den letzten Jahren sind einige „neue“ alternative Behandlungsmethoden auf den Markt gekommen (9, 15, 27). Ihre Befürworter versuchen Glauben zu machen, dass es sich dabei um gesündere, vor allem aber kostengünstigere Verfahren – also Verdrängungsverfahren – gegenüber Durchlauftrocknung und Kühlung handelt (27). Aus der Praxis ist das Gegenteil bekannt (23, 25, 26). Auch an dem „Neuen“ darf mit Recht gezweifelt werden.

Abb. 9 zeigt ein Anwendungsbeispiel einer solchen „Neuheit“ von heute aus dem Jahre 1964 (6). Im Vorfeld der Verfahrensbeschreibung der Körnerfruchtkühlung, einer wirtschaftlichen und natürlichen Nacherntebehandlung von Erntegütern, ist es notwendig, einige sprachliche Missverständnisse zu beseitigen.

Viele Befürworter erwähnter Getreidebehandlungsmethoden benutzen ein irreführendes Vokabular. Auf **Seite 9** finden Sie einige differenzierende Worte.

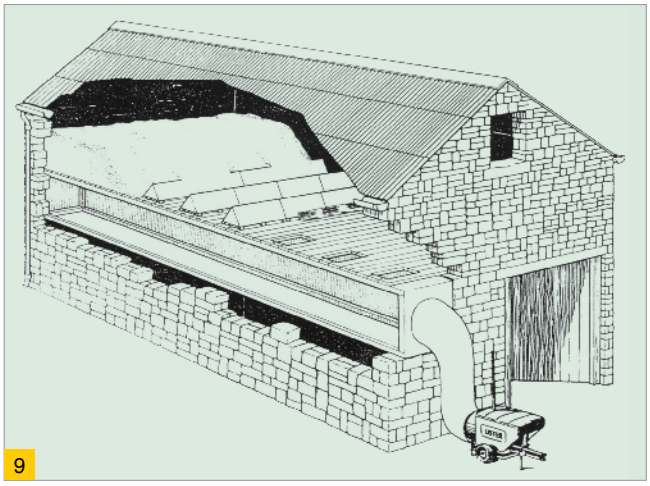
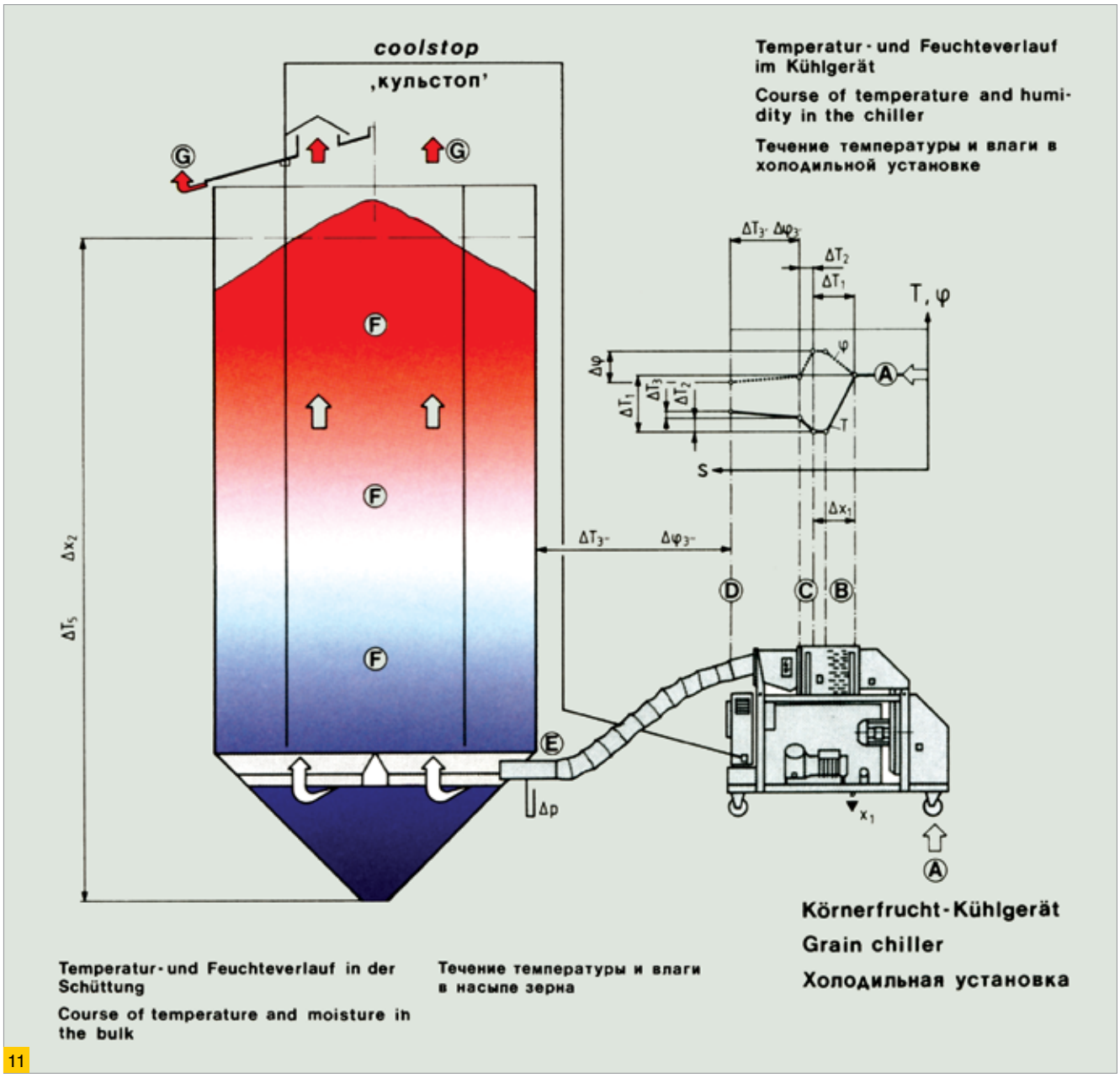


Abb. 9 Lagerbelüftungstrocknung aus dem Jahre 1964 (6)

10

Abb. 10 Kühlgerät mit Tagesleistungen von 40 bis 600 Tonnen für unterschiedliche Lagergrößen



11

Abb. 11 Funktionsprinzip der Körnerfruchtkühlung

Funktionsprinzip der Körnerfruchtkühlung

In modernen Agrarstaaten werden Körnerfrüchte nach dem Prinzip der losen Schüttung konserviert. Das heißt, das Schüttgut wird in Silos, Hallen oder Boxen lose auf den Boden geschüttet. In den Lägern befinden sich Luftverteilvorrichtungen, wie z.B. aufgelegte Kanäle oder in den Boden eingearbeitete Schächte. Durch solche Vorrichtungen wird die Luft über die Lagerfläche verteilt und durch das Haufwerk geleitet. Auf **Abb. 11** ist das Funktionsprinzip einer solchen Getreidekühlanlage abgebildet.

A) Im Kühlgerät wird von einem Radialventilator Umgebungsluft angesaugt.

B) Sie tritt in den Verdampfer (Kühler), wo sie nicht nur abgekühlt, sondern auch entwässert wird.

C) Hinter dem Verdampfer ist die Luft kalt, aber feucht.

D) Sie muss im Nachwärmeregister aufgewärmt werden, damit die Feuchte so weit sinkt, dass die hygroskopischen Getreidekörner keine Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen können.

E) Durch Nachwärme konditionierte Luft strömt durch den Kaltluftschlauch und in das Luftverteilsystem ein.

F) Die kalte Luft durchwandert in unterschiedlichen Prozessschichten die Körnerfruchtschüttung.

G) Die zum Teil gesättigte Luft verlässt das Getreidehaufwerk.

Während dieses Durchströmungsvorgangs ändern sich die Zustände von Luft und Getreide. Die Körner nehmen die Temperatur auf und werden kühler. Sie geben dabei ihre Wärme an die durchströmende Luft ab. Die Luft erwärmt sich in der Schüttung und kann dadurch Feuchtigkeit aus den Körnern aufnehmen. Ein Kühlvorgang ist somit kein reiner Wärmeaustausch, sondern ein gekoppelter Temperatur- und Stoffaustausch. Weil bei Kühlung die Differenzen der Temperaturen und Feuchten zwischen Korn und Luft hoch sind, entsteht im Haufwerk ein zusätzlicher Verdunstungsprozess, so dass der Stoffaustausch, also der Trocknungseffekt, recht groß ist (25). Das ist ganz vereinfacht dargestellt, der Grund dafür, dass eine Getreideschüttung während eines Kühlvorgangs nicht nur kühler, sondern auch trockener wird.

Bei der Abkühlung eines Getreidestapels um 10K (ºC), können die Körner auf diese Weise, je nach Wassergehalt der Kornmasse, rechnerisch bis zu einem Prozent trockener werden. In der Praxis werden jedoch weitaus höhere Trocknungseffekte erreicht. Lager, Luftverteilsystem und Kühlgerät müssen aufeinander abgestimmt sein, wenn eine Körnerfruchtkühlung funktionieren soll. Man sollte sich vom Hersteller von Körnerfruchtkühlgeräten beraten lassen. Kühlgerätegrößen sind so abgestuft, dass zu jedem Getreidelager das günstige Gerät empfohlen werden kann. Es stehen 5 Kühlgerätetypen mit Tagesleistungen von 40 bis 400 Tonnen zur Verfügung. (**Siehe dazu Abb. 10**)

Begriffsabgrenzungen

Belüftung: ist ein Blasen mit unbehandelter Umgebungsluft. In der ehemaligen DDR gehörte Belüftung zum Standard der Körnerfruchtbehandlung (29). Belüftet wurde in der Regel mit Axialventilatoren, wie auf **Abb. 8** gezeigt. Solche Lüfter sind jedoch wegen Ihrer bauartbedingten niedrigen Drücke nicht geeignet, eine Körnerfruchtschüttung zu durchblasen. Die Luft wird bei Belüftung nicht entwässert oder getrocknet, sondern nur im Bereich des motorischen Wärmeäquivalentes des Lüfters leicht angewärmt. Der absolute Wassergehalt bleibt fast unverändert. Bei warmer und feuchter Ware sowie vor dem Kühlen ist Belüftung ohne Bedenken anwendbar. Bei großen Körnerfruchtmengen und langen Behandlungszeiträumen ist Belüftung äußerst bedenklich. Belüften ist nicht so kostengünstig, wie allgemein glauben gemacht wird.

Kaltlufttrocknung: ist Belüften mit Umgebungsluft unter Vor- oder Nachschalten einer Wärmequelle (**siehe Abb. 9**). Dadurch kann eine Lufterwärmung zwischen einem $\Delta\vartheta$ von 2 bis 10 K bewirkt werden. Die Herabsetzung der relativem Luftfeuchte erfolgt in Grenzen der Lufterwärmung. Kaltlufttrocknung ist bei kleinen und niedrigen Schüttungen, vorwiegend im bäuerlichen Bereich, anwendbar, nicht zu verwenden bei kleinkörnigen Produkten wie Raps, und nicht bei Mais. Zum „Kühlen“ ist Kaltlufttrocknung nicht geeignet, obwohl oft das Gegenteil geglaubt wird. Das liegt wohl an der Namensgebung. Kaltlufttrocknung wird umgangssprachlich auch als Belüftungstrocknung bezeichnet.

(Groß) Belüftungstrocknung: war eine Modeerscheinung als man noch „drei Fliegen mit einer Klappe“ zu schlagen erhoffte: trocknen, belüften und kühlen. Weder „Fliegen“ oder Käfer, noch Pilze oder Hefen waren davon beeindruckt- aber Keimlinge... In jüngster Zeit konnte man sich davon in den neuen Bundesländern überzeugen. Wenn bei Großbelüftungstrocknung niedrige Kosten propagiert werden, so sind nicht alle Kostenfaktoren berücksichtigt und Substanzverluste nicht in die Rechnung einbezogen (25, 26, 27). Und wer mit dieser Methode „70% billiger als herkömmliche Kühlgeräte“ arbeiten will, ist mit der Materie Getreide nicht vertraut.

Selbsterhitzungstrocknung: zum Wohl der Menschheit nicht mehr gebräuchlich. Hierbei sollten der Endreifeprozess der Körner und die Reibung des Gutes eingespart werden. Dreck gehört in die Schüttung, war die Devise. Feucht mussten die Körner auch sein, damit der Haufen heiß wird. Die Selbsterhitzungstrocknung ging haarscharf am Perpetuum mobile vorbei, bevor mehrere Forschungsanstalten – z.B. (15) – dieser Methode ein Ende setzten.

Kühlung: ist Nacherntebehandlung mit Hilfe einer Kältemaschine. Nur bei Kühlung wird die Prozessluft bis zum Taupunkt entwässert und nach Sorptionsfeuchte bzw. dem a_w-Wert der Körner wieder aufgewärmt. Kühlung ist unabhängig vom Wetter einsetzbar. Kühlgeräte stehen den Betreibern bei Regen und Nebel, auch bei 100% relativer Luftfeuchtigkeit zur Verfügung. Durch starken Verdunstungskühlprozess im Korn ist Kühlung sehr wirtschaftlich. Verantwortungsbewusste Lagerhalter wissen das.

Warmluft-Durchlauftrocknung: Dieses Verfahren steht außer Zweifel, und es wäre müßig, in den angeführten alternativen Trocknungsmethoden Verdrängungs- oder Konkurrenzverfahren dazu zu sehen. (Trotzdem wird in Ostdeutschland „experimentiert“ und häufig eine Kopplung mit Belüftungstrocknung vorgefunden!)

Allgemein ist aber bekannt, dass Warmluft-Durchlauftrocknung weltweit als der sicherste Weg zum Erreichen von Lagerungsstabilität anerkannt ist. Die Erwärmung des Verfahrensträgers Luft erfolgt bei Warmluft-Durchlauftrocknern nach der angestrebten Höhe des Wasserentzuges bzw. der maximal zulässigen Korntemperatur.

Das behandelte Gut unterliegt während des Prozesse einer Vermischung. Bei allen anderen Verfahren – einschließlich der Kühlung – befindet sich das zu behandelnde Gut im Ruhezustand im Endlager. Die Erwärmung der Luft richtet sich bei diesen Verfahren nach der angestrebten Luftfeuchte äquivalent zur Kornfeuchte. Lediglich bei Kühlung erfolgt während des Behandlungsprozesses eine gleichzeitige Temperaturabsenkung auf Lagerungstemperatur.

Sicherheitseinrichtungen

Ein Kühlvorgang ist dann beendet, wenn die Temperatur der Getreidemasse ca. einen halben Meter unter der Oberfläche der Schüttung, 4 bis 2ºC höher ist als die angestrebte Temperatur in den unteren und mittleren Bereichen. Eine Kontrolle der Schüttungstemperatur während des Kühlvorganges ist sehr wichtig, damit das angeschlossene Kühlgerät nicht länger als notwendig betrieben wird. Eine regelmäßige Kontrolle der gekühlten ruhenden Schüttung gibt Aufschluss darüber, ob sich z.B. ein Wärmenest gebildet hat, bzw. wann eine Nachkühlung notwendig wird. Neue Kühlgeräte können z.B. die Temperaturüberwachung durch coolstop übernehmen. Aber auch, wenn coolstop nicht eingebaut ist, wird dringend eine Temperaturmessanlage empfohlen (7). Eine genaue Kenntnis der Temperatur dient nicht nur der Sicherheit, sondern sie sollte als kostensenkenden Faktor gesehen werden.

Coolstop ist eine Überwachungseinrichtung für Kühlgeräte, die eine automatische Abschaltung des Gerätes vornimmt, wenn die angestrebte Temperatur in der Schüttung erreicht ist. Für die Temperaturüberwachung notwendige Sonden – siehe **Abb. 12**, werden bei flachen Lägern in das Getreidehaufwerk gesteckt und über ein Kabel mit dem Kühlgerät verbunden (**Abb. 12 und 13**).

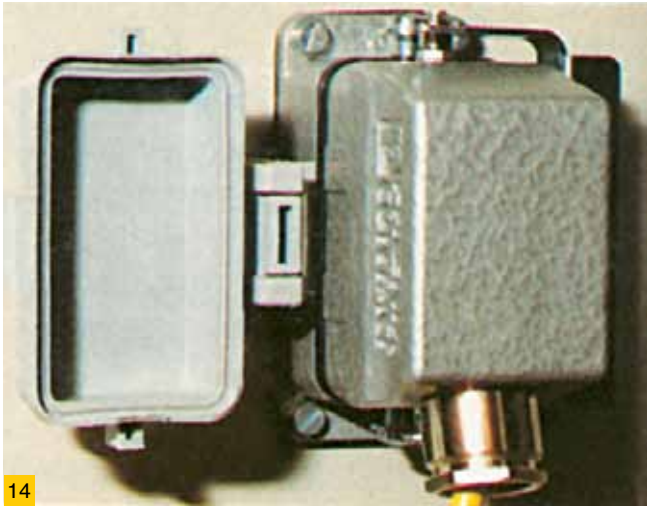

14

Abb. 14 Der Anschluss von coolstop ist bei Kühlgeräten der Baureihe 404-S serienmäßig vorhanden.

12

Abb. 12 coolstop-Sonde für Temperaturüberwachung im flachen Lager

15

Abb. 15 bedienungsfeld der SPS-Steuerung

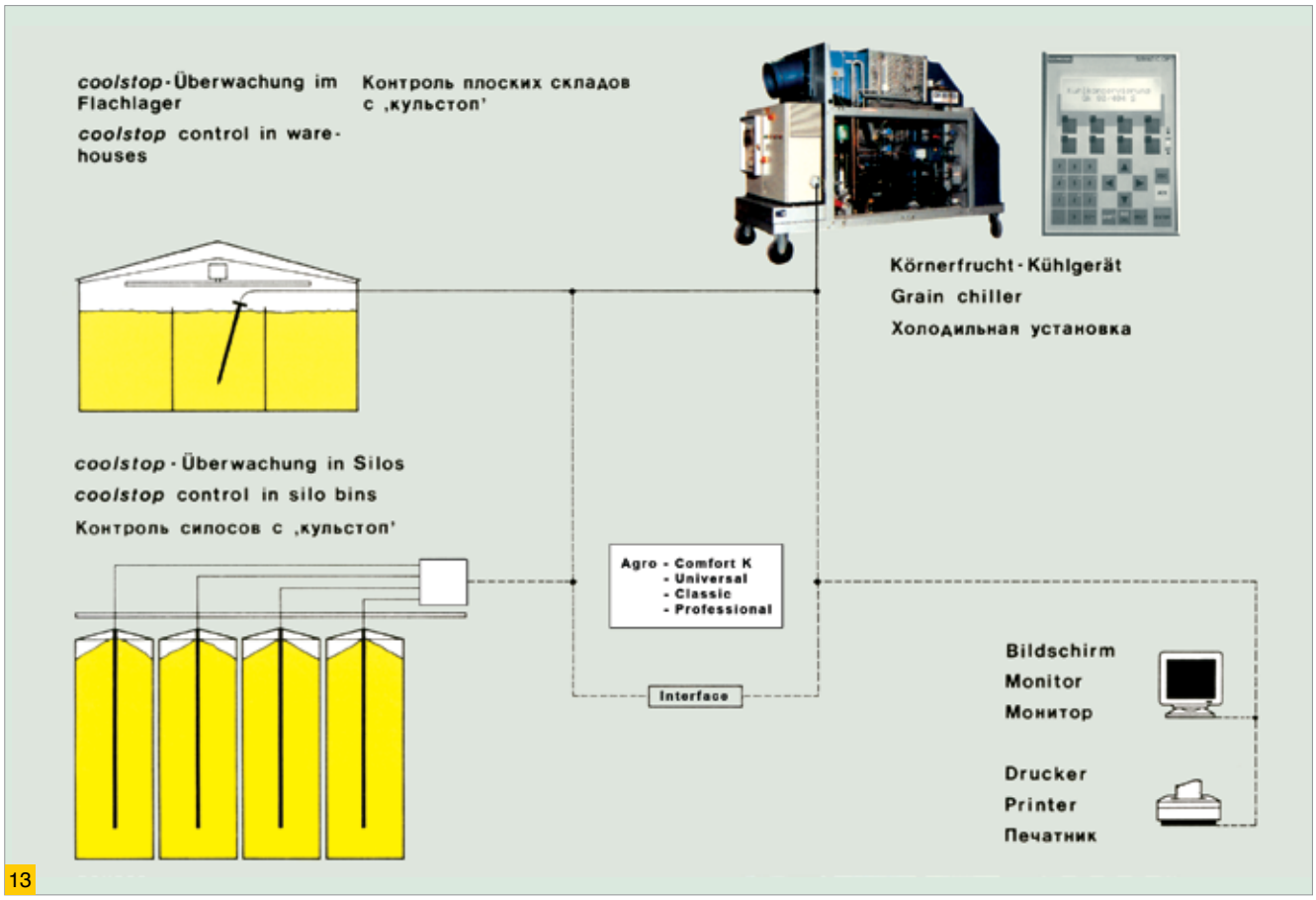


Abb. 13 NDi und 404-S Kühlgeräte überwachen durch coolstop Körnerfrüchte in flachen Lägern und Silos

Bei Silos wird coolstop an der Schnittstelle des oberen Messfühlers der Messanlage angeschlossen, sofern sie dialogfähig ist. Siehe dazu **Abb. 13**. Bei ältern Messanlagen muss ein Interface zwischengeschaltet werden. Die Dauer eines Kühlvorgangs kann durch coolstop genau überwacht werden. **Abb. 15** zeigt ein Bedienungsfeld der SPS-Steuerung. Es entfallen überflüssige Kühlzeiten, die dann entstehen, wenn z.B. bei Unkenntnis der Schüttguttemperatur sicherheitshalber einen Tag länger als notwendig gekühlt wird. Neue Kühlgeräte haben serienmäßig eine Steckverbindung für coolstop, wie auf **Abb. 14** abgebildet.

Bei modernen Kühlgeräten sind viele Sicherheitseinrichtungen, wie z.B. granotherm, granosafe und granoplus serienmäßig installiert. Auf **Abb. 16** ist ein Kühlgerät aus dem Jahre 1968 abgebildet. Das Gerät ist hier an einen Betonsilokomplex zur Körnermaiskühlung angeschlossen. Die Normalleistung dieses Gerätetypes betrug 400 t/Tag: die Maximalleistung lag bei ca. 550 t/Tag. Konditionierte Kaltluft wurde durch eine Anordnung des Ventilators erzeugt, wie sie der auf **Abb. 2** ähnlich ist. **Abb. 17 und 18** zeigen dagegen ein neues intelligentes Kühlgerät des Typs GK 320/404-S.

Kühlgeräte der neuen, intelligenten 404-S Reihe, arbeiten mit einer selbstüberwachenden SPS-Steuerung. Sie regelt den Programmablauf während des Betriebes, schützt sich selbst und das gekühlte Produkt und speichert darüber hinaus Betriebs- und Wetterdaten für verfahrensbegleitende Analysen. Ältere Geräte der Baureihe NDi arbeiten rechnergestützt nach dem Dialogprinzip.

Moderne Kühlgeräte der Baureihe 404-S sind für alle Klimabereiche ausschließlich mit dem FCKW-freien Kältemittel R 404a gefüllt. Die ältere Baureihe NDi verwendet das Sicherheits-Kältemittel R 22.

Abb. 17 Ein Kühlgerät aus dem Jahre 1968 kühlt Körnermais in einem Silokomplex, Normalleistung 400 t/d, Maximalleistung 550 t/d.

Abb. 17 Ein modernes Kühlgerät GK 320/404-S

Abb. 18 Innenleben des Kühlgeräts GK 320/404-S

Lagerungsdauer verlängern

Es wurde bereits darüber gesprochen, dass geerntete Körnerfrüchte im Lager weiterleben und dass Getreideschüttungen hohe Isolationseigenschaften besitzen. Es wurde auch erwähnt, dass gekühltes Getreide deshalb länger gelagert werden kann.

In **Tabelle 3** sind Erfahrungswerte über die Lagerungsdauer von gekühltem Getreide bis zur ersten Nachkühlung zusammengestellt. Es ist zu sehen, dass z.B. Getreide mit einem Wassergehalt von 15% bis zu einem Jahr lagern kann, ohne dass es nachgekühlt werden muss. Allerdings schließt Kaltlagerung von Körnerfrüchten regelmäßige Temperaturkontrollen nicht aus. Sollte sich das Schüttgut um 4 bis 5°C erwärmen, ist eine Nachkühlung zu empfehlen.

Lagerungstemperatur Wassergehalt U	Lagerungsdauer
14 %	1,5 bis 2 Jahre
15 %	8 bis 12 Monate
16 %	4 bis 8 Monate
17 %	3 bis 5 Monate
18 %	1,5 bis 3 Monate
20 %	2 bis 6 Wochen
23 %	ca. 2 Wochen

Tabelle 3: Lagerungsdauer von auf 10°C gekühltem Getreide bis zur ersten Nachkühlung (Erfahrenswerte)

Umlagerungen entfallen

Ungekühltes Getreide, das bei herkömmlicher Lagerung aufbewahrt wird, muss erfahrungsgemäß öfter umgelagert werden. Dabei entstehen nicht nur beträchtliche Lohn- und Förderkosten, sondern – besonders bei trockenem Getreide- auch erhebliche Qualitätsschäden durch Abrieb, Beschädigung und Bruch der Getreidekörner. Gekühlte Ware hingegen braucht nicht umgelagert zu werden. Sie liegt sicher bei bester Qualitätsbeschaffenheit über sehr lange Zeiträume, wie aus **Tabelle 3** ersichtlich.

Richtigen Standort wählen

Die Wahl des Aufstellungsortes für ein Kühlgerät gehört ebenfalls zu den Vorbereitungen. Es ist nach Möglichkeit ein Platz zu wählen, an dem ein Kühlgerät nicht einer intensiven Sonnenbestrahlung ausgesetzt ist. An heißen Tagen kostet es viel zusätzliche Energie, wenn z.B. eine Kältemaschine windgeschützt in einem sonnigen Erker steht und auch noch zusätzlich die eigene Wärme verarbeiten muss. Man sollte das wirtschaftliche Betreiben praktizieren und die Betriebskosten nicht auf solche Weise hochschrauben.

Lagerräume richtig herrichten

Wenn Läger für die Konservierung von Körnerfrüchten eingerichtet werden, müssen entsprechende Vorbereitungen getroffen werden. Läger müssen vor allen Dingen sauber sein, bevor Körnerfrüchte eingefüllt werden. Es ist immer wieder zu beobachten, dass Rückstände aus vergangenen Lagerungsperioden, wie angebackene, verdorbene Körner, Staubreste und auswachsende Kornreste, nicht aus den Lägern entfernt werden. Solche Rückstände bilden ideale Infektionsherde für Schimmelpilze und Schadinsekten, weil neu eingelagerte Ware infiziert wird. Insektenvermehrung sowie biochemische Umsetzungen bei der nachfolgenden Lagerungsperiode sind damit vorprogrammiert (16). **Abb. 19** zeigt ein vorbildlich hergerichtetes Lager. Die Luftverteilung wurde mit granowell Elementen ausgeführt.

Bevor man Lagerräume für die Konservierung von Körnerfrüchten nutzen kann, muss ein auf die Größe des Lagers und auf die zu lagernde Menge abgestimmtes Luftverteilsystem eingebracht werden. Für flache Läger gibt es viele Arten von Luftverteileinrichtungen, über die noch gesprochen wird. Bei Silozellen mit Auslauftrichter hingegen lässt sich nur eine Bauform verwenden: eine Luftverteilvorrichtung, wie auf **Abb. 20** zu sehen. Weil speziell das Thema „Kühlung in Silos“ sehr umfangreich ist und an anderer Stelle ausführlich behandelt wird (28), soll hier nicht näher darauf eingegangen werden. Es sei lediglich gesagt, dass alle vorkommenden Formen von Silos für Kühlung geeignet sind und dass auch alle Zellenhöhen von Lüftern der Kühlgeräte überwunden werden.

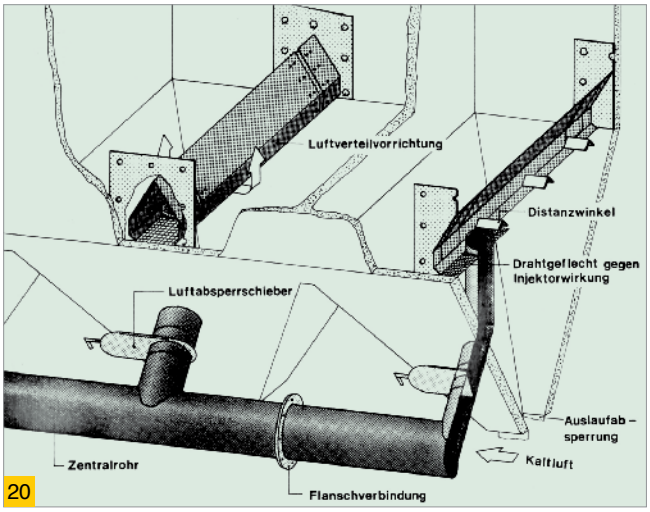
Kondensation vermeiden

Bei der Lagerung von Körnerfrüchten in Stahlsilos ist der Einsatz von Kühlgeräten besonders dann von Bedeutung, wenn Kondensationsprobleme an Wänden und Dächern vermieden werden sollen. Getreidepraktiker kennen das Problem, dass besonders bei kalter Witterung in den Herbst- und Wintermonaten, die Oberfläche der Schüttung überwiegend im oberen Bereich klamm und feucht wird (1, 4, 27). Dies führt nicht nur zu Auswuchs, sondern auch zu unliebsamen Vermischungen. Beim Entleeren kann es sogar zu Verstopfungen der Ausläufe kommen. Darüber hinaus entstehen während der kalten Jahreszeit bei ungekühlter Ware Wärme- und Feuchtenwanderungen in der Schüttung (4). Die Wärme steigt im Getreide nach oben, kondensiert am kalten Dach und bildet Tropfen an der Dachinnenfläche. Diese Tropfen fallen auf die Getreideoberfläche und feuchten sie auf (1, 4, 27).

Ein Beispiel: Getreide wird mit 16% Wassergehalt und 20ºC eingelagert. Aus Kostengründen will man nicht kühlen, sondern kaltes Herbstwetter von 10ºC abwarten und dann belüften. Der Ventilator mit einem Fördervolumen von 5000m³/h produziert dann während einer Nacht fast 14 Eimer Wasser, welches über die Oberfläche der Lagerware geschüttet wird (4)! Solche Kondensationserscheinungen werden durch große Temperaturdifferenzen zwischen warmen Kornhaufen und kaltem Silodach hervorgerufen. Das ist ein physikalischer Vorgang und keine Begleiterscheinung der Kühlung, wie vor kurzem irreführend behauptet wurde (5). Inkompetente Ratschläge sind immer mit Vorsicht zu behandeln (27). In einer Schüttung, die sofort nach der Ernte auf 10ºC gekühlt wird, entstehen keine Wärme- und Feuchtwanderungen und deshalb auch keine Kondensation, weil das Haufwerk homogen ist und Lagerware, Dach und Zwischenraum annähernd gleiche Temperaturen aufweisen.

19

Abb. 19 In Ausführung und Sauberkeit vorbildlich hergerichtetes Boxenlager mit granowell® - Luftelementen



20

Abb. 20 Luftverteilvorrichtung für Silozellen

21

Abb. 21 granowell® - Luftverteilerelemente sind die am häufigsten verwendeten Luftverteilvorrichtungen

Luftverteilvorrichtungen für flache Läger

In der **Tabelle 4 - Gruppe A** sind vier verschiedene Luftverteilvorrichtungen für flache Läger aufgeführt. Halbrunde granowell - Elemente, in **Tabelle 4 - Nr. 2** und auf **Abb. 21** zu sehen, sind aus gelochtem verzinkten Stahlblech, wellenförmig gepresst. Aus verfahrenstechnischen Gründen, aber auch aus wirtschaftlichen Erwägungen, sollten diese Luftverteilvorrichtungen für ebenerdige Verlegung allen anderen Arten vorgezogen werden.

Bei einer Länge von 92 cm und Gewichten zwischen 3,7 und 7,4 kg sind sie leicht zu installieren, zu demontieren und zu reinigen. Nach Gebrauch lassen sie sich platzsparend unterbringen. Die vollflächige Perforierung sorgt für einen größtmöglichen Luftdurchsatz und dafür, dass Luft direkt ans Korn gelangt. Der Abstand von Strang zu Strang sollte gleich der Schütthöhe sein, auch bis zu 20% größere Abstände sind noch zu vertreten. Bei bituminierten Böden werden granowell - mit carry-well-Schienen versehen, wie auf **Abb. 21** gezeigt, damit sie nicht in die weiche Schicht einsinken. Geschlossene, wie z.B. drei- und viereckige Luftverteilvorrichtungen – **Tabelle 4 - Nr. 3 & 4** – sollten nur Notlösungen sein. Das sie sich in Eigenleistung herstellen lassen, ist aber auch der einzige Vorteil. Solche Luftverteilelemente sind auf Konsolen verlegt. Die Luft tritt aus dem Zwischenraum, den die Konsole bildet, in die Körnerfruchtschüttung. Bei der Verlegung von Strängen dieser Kanalart sollten die Abstände von Strang zu Strang so weit sein, wie die Schüttung hoch ist.

Weil der Elementkörper geschlossen ist, besteht die Gefahr einer Auffeuchtung des anliegenden Getreides, weil es nicht unmittelbar von Luft umspült wird. Außerdem sind solche Luftverteilvorrichtungen bei Längen von ca. 2 Metern, recht unhandlich. Die Unterseite der Vorrichtungen muß dort, wo die eingeblasene Luft aus dem Rohr tritt, mit Siebblechen oder feinmaschigem Gewebe ausgebildet sein, damit durch Injektionswirkung keine Verwirbelungen der Körner entstehen. Durch Verwirbelungen können Luftverteilstränge auf der ganzen Länge zugespült werden. Wenn das passiert, geht natürlich nichts mehr. Kunststoffrohe mit Schlitzlochung, unter **Nr. 5 - Tabelle 4** zu sehen, sind besser unter dem Namen Dränrohr bekannt. Sie werden in Hallen mit niedrigen Schütthöhen und bei Schüttböden eingesetzt. Dränrohre werden auch häufig bei Bevorratungslägern gewählt weil, die Zerstörung der Rohre bei langen Lagerungszeiten nicht so ins Gewicht fällt. Es können Nenndurchmesser von 100, 160 und 200 mm gewählt werden.

Die Rohre sollten nicht direkt auf dem Boden verlegt sein, sondern etwas oberhalb in die Schüttung gebettet werden, damit alle Schlitze zur Verteilung der Luft genutzt werden können. Bei Dränrohr 160 beträgt die Luftverteilfläche nur 0,00325 m²/m. Das ist sehr wenig. Solche geringen Durchlassöffnungen und der relativ kleine Dränrohrquerschnitt, bedingen einen engen Abstand zwischen den Strängen.

Wie viele Anschlüsse ein Verteilerelement bekommen muss, hängt von der Fördermenge des Gebläses ab. Die notwendige große Anzahl von Dränrohren wirkt sich bei der Befüllung, aber vor allem bei der Entleerung sehr nachteilig aus. **Abb. 22** zeigt ein Lager für die Getreidebevorratung während der Befüllung. Hier wurden Dränrohre von Nenndurchmesser 200 mm zur Verteilung der Luft verlegt. Vorteilhaft für ungehinderte Ein- und Auslagerung sind Unterflurkanäle – **Tabelle 4 - Nr. 6** – in Flachlägern. Das sind Betonschächte, die mit überfahrbaren, herausnehmbaren Rosten und Lochblechabdeckungen versehen sind (**Siehe Abb. 24**). Der Abstand dieser Luftverteilelemente zueinander sollte jedoch kleiner als bei anderen Kanalarten sein, damit auch niedriger geschüttet werden kann. Die Nachteile von Unterflurkanälen liegen neben den hohen Kosten auch bei der aufwendigen Wartung.

Bei nicht gewissenhafter Entfernung von Staub- und Getreideresten aus dem gesamten System ist eine Entwicklung von Schadinsekten in großem Umfang nicht zu vermeiden. Weil Unterflusskanäle aus verzinktem Stahlblech gefertigt sind, müssen sie bei Mehrfachnutzung der Lagerräume – z.B. für Dünger – sehr sorgfältig abgedeckt oder durch Bohlen ersetzt werden, damit der Stahl oder Zink nicht mit dem aggressiven Düngemittel reagiert. Wichtig ist, dass Unterflurelemente unter Bodenniveau liegen, damit sie beim Entleeren mit Schaufelladern nicht zerstört werden, wie das Beispiel auf **Abb. 25** zeigt.

1	Sonderfall	Siebboden	3009
2	Gruppe A	Halbrunder granowell Kühlkanal	3010
3	Gruppe A	Stahlkanal auf Konsolen	3050
4	Gruppe A	Holzkanal auf Konsolen	3060
5	Gruppe A	Kunststoffrohr (Dränrohr)	3020
6	Gruppe B	Unterflurkanal	3040
7	Gruppe C	Luftverteilvorrichtung für Silozellen	3030

Tabelle 4: Übersicht der gebräuchlichsten Luftverteilvorrichtungen

Abb. 22 Ein flaches Lager für die Getreidebevorratung während der Befüllung; das Luftverteilsystem besteht aus Dränrohren des Nenndurchmessers 200 mm.

Günstige Luftverteilvorrichtungen verwenden

Soll es in einer Körnerfruchtschüttung nicht zum Zusammenbruch kommen, müssen ausreichend Kanäle zur Verteilung der Luft verlegt sein. Die Luftverteilvorrichtungen sollten preiswert und stabil sein. Sie müssen handliche Größen haben und vor allem sollten Sie der Luft wenig Widerstand entgegensetzen, denn eine Schüttung erzeugt schon genug Gegendruck. Es gibt viele Kanalarten für alle Einsatzzwecke. **Tabelle 4** zeigt einige davon.

Da steht zunächst der Siebboden bei Rundsilos – **Tabelle 4 - Nr. 1** – als Sonderfall. Es ist für das Kühlverfahren, wie auch für jegliche Lüftung ideal, wenn der Luftübergang in Rundsilos über Siloböden erfolgen kann. Der Nachteil, dass geringfügig Lagerraum verloren geht, wird von vielen Vorteilen überwogen: Gleichmäßige Beaufschlagung mit Luft, niedrige Widerstände – das ist besonders bei Raps wichtig – und stetiges Umspülen der Körner mit Luft.

Durch niedrige Gegendrücke geht viel Luft durch die Schüttung. Das merkt der Betreiber an geringeren Betriebskosten. Allerdings sind die wegen Infektionsgefahr durch Insekten zwingend notwendigen Reinigungsarbeiten schwierig durchzuführen. Besonders bei kleinkörnigen Produkten sollten Luftverteilstränge mit Jutebahnen oder Kunststoffgaze abgedeckt sein, wie auf **Abb. 23** gezeigt. Das senkt den Widerstand erheblich (24). Darüber hinaus kann die kostengünstigere Ausführung der granowell - Luftverteilelemente mit 2 mm-Lochung gewählt werden.

Luftverteilvorrichtungen für Silos mit Trichter

Für Silos mit Trichter werden Luftverteilvorrichtungen verwendet, wie sie im unteren Teil der **Tabelle 4** und auf **Abb. 20** zu sehen sind. Solche Elemente bestehen aus dickem Stahlblech und haben in der Regel eine dreieckige Form. Weil diese Luftverteilvorrichtungen nur zwei Auflagepunkte haben, müssen sie gegen Durchbiegung durch Stützen gesichert sein. Über die ganze Länge sind Querstäbe angebracht, die den Kanal vor allem bei den hohen dynamischen Kräften während der Siloentleerung gegen Verformung sichern. Solche Luftverteilvorrichtungen sind von unten offen. Ihre Einblasbereiche müssen ebenfalls mit Siebblech versehen sein, damit keine Injektorwirkung entsteht (28).

Wichtig ist, dass Luftverteileinrichtungen in Silozellen im oberen Bereich der Trichter installiert sind, weil jede Verlagerung nach unten die Ausbreitung der Luft hemmt und dadurch die Luftaustrittsfläche verkleinert wird (28).

Partiengröße sinnvoll wählen

Noch eine Bemerkung zur Projektierung von Kühllägern in Hallen: In der Praxis werden häufig sehr große, miteinander verbundene Luftleitsysteme vorgefunden. Es kann zu sehr hohen Betriebskosten führen, wenn sich z.B. irgendwo im großen Haufwerk ein Wärmenest gebildet hat, und nur ein kleiner Teil der Schüttung gefährdet ist.

Bei weitläufigen, zusammenhängenden Systemen muss eine riesige Masse Getreide gekühlt werden, damit auch das kleine Wärmenest abkühlt. Das dauert und kostet viel. Günstiger ist es, die gesamte Schüttung in kleine Bereiche aufzuteilen und mit einzelnen Luftverteilsträngen zu versehen. In solchen Fällen wird eine gezielte Kühlung sichergestellt.

Abb. 26 und 27 zeigt die Lagerung von Körnerfrüchten, wie sie sein soll: In flachen Lägern werden ca. 12.000 Tonnen Qualitätsgetreide bei 6 m Schütthöhe gekühlt gelagert. Die Beaufschlagung mit Kaltluft erfolgt über jeden einzelnen Strang.

Abb. 23 Das Abdecken von Luftverteilsträngen mit Jutebahnen oder Kunststoffgaze senkt Widerstände bis zu 40% (24)

Abb. 24 Unterflur Luftverteilerelemente in einem Lager für Futterpellets

Abb. 25 Über Bodenniveau liegendes, durch Ladeschaufel beschädigtes Unterflur-Luftverteilelement

26

27

Abb. 26 und 27 Fläche Lagerung von Weizen in Westdeutschland. Bei 6m Schütthöhe werden ca. 12 000 Tonnen kühl gelagert.

Schlußbemerkungen

Es ist erschreckend, wie viele Erntegüter während der Aufbewahrung in Lägern verderben. Nach FAO-Statistiken (Food an Agriculture Organization of the United Nations) betragen Nachernteverluste durch unsachgemäße Aberntung, Lagerung und Transport weltweit ca 30%. Darin sind Verluste in östlichen Staaten, der ehemaligen Sowjetunion und der Volksrepublik China nicht enthalten. Man rechnet, dass die Nachernteverluste – auch bei vorsichtiger Schätzung – fast die Hälfte des weltweit geernteten Aufkommens an Getreide, Ölfrüchten, Obst und Gemüse ausmachen!

Bereits die Vorstellung des Kühlverfahrens im Jahre 1952 (1) wurde eine dreißigprozentige Senkung der Nachernteverluste gefordert und darauf hingewiesen, dass in afrikanischen Ländern der Verlust bei 50% liegt (1). Anfang der 80er Jahre forderte die United Gerneral Assembly immer noch eine 50%ige Senkung der Nachernteverluste. Wie man sieht, ohne Erfolg: Ein Viertel der Weltbevölkerung ist unterernährt. Jährlich sterben über 14 Millionen Menschen an Hunger, fast 27 Menschen pro Minute! Es sterben vor allem Kinder! Solche Zahlen erschüttern. Sie lassen sich nicht schnell verändern. Es muss weltweit ein neues Bewusstsein entstehen und ein Anfang gemacht werden.

Literaturverzeichnis

1. **Anonym:** Die Konservierung des Getreides und die Methode des „Kältepunktes“ (1952) – Übersetzung aus dem Französischen (Weissenfels), vom 23.01.53
2. **Bakker-Arkena, F.W., D.E. Meier, W. Mühlbauer** und **H. Brunner:** Kühlkonservierung von Getreide in den Vereinigten Staaten Die Mühle + Mischfuttertechnik **127** (1990) 17, S 212 - 217
3. **Bolling.H.:** Qualitätssicherung hat Vorrang - agrarpraxis **104** (1990) 5. S. 38 - 39
4. **Brunner,H.:** Getreidekühlung in Stahlsilos. - Die Mühle + Mischfutter **117** (1980) 32, S. 423 - 424
5. **Büchi, R.:** Folgen zu hoher Feuchtigkeit: Pilzbefall. - Die Mühle + Mischfuttertechnik **128** (1991) 29, S. 367 - 368
6. **Crop Drying Division R.A. Lister (1964):** The Lister low cost system grain drying on the floor
7. **Diener, U.:** Zeitgemäße Mess- und Regelgeräte in Mühlen und Silos - Die Mühle + Mischfuttertechnik **129** (1992) 13, S. 163 - 167
8. **Farm Mechanization** (1966) 5.p. 23 - 24: Grain chilling equipment
9. **Höhn, H.:** Getreidelagerung - Trocknung - Belüftung - Die Mühle + Mischfuttertechnik **129** (1992) 5, S. 43 - 55
10. **ISO 6322-3** (1989): Storage of cereals and pulses - Part 3: Controll of attack by pests - Beuth-Verlag Berlin
11. **Jouin, C.:** Grundlegende Kalkulation für die Belüftung des Getreides. - Getreide und Mehl **18** (1964) 6, S. 64 - 70
12. **Lacey, J.,S.T. Hill** and **M.A. Edwards:** Microorganisms in stoned gratins: Their enumeration and significance - Tropish Stoned Product Information **39** (1980), p. 19 - 33
13. **Münzing, K.:** Lagerungsrisiken bei Getreide. - Die Mühle + Mischfuttertechnik **126** (1989) s. 111 - 112
14. **Münzing, K.:** Schwitzprozesse bei Getreide aus heutiger Sicht. - Getreide, Mehl und Brot **43** (1989) 7, S. 200 - 207
15. **Münzing, K.:** Möglichkeiten und Grenzen neuer Verfahren bei der Getreidebelüftung. Ausnutzung von Selbsterhitzungsvorgängen - Getreide, Mehl und Brot **37** (1983) 10, 291 - 295
16. **Münzing, K. und H. Zwingelberg:** Alternativen zur Schädlingsbekämpfung bei Getreide und Mehl. - Die Mühle + Mischfutter **127** (1990) 17, S. 207 - 211
17. **Novoselow, S., W. Restschikow, W. Werbitzky, M. Rjasanzewa, B. Maratow, i. G. Migerew:** Reiskühlung im Durchlaufkühler. - Mukomol`no Elevatornaja i Kombikornovaja Promyshlennost, Moskau (1983) 9, st. 22 - 23
18. **Pawelzik E.,** und **H.-P. Friedrich:** Untersuchungen zur Charakterisierung des Lagerverhaltens von Raps und Mohn. - Die Mühle + Mischfuttertechnik **128** (1991) 31, S. 512 - 515
19. **Rjasanzewa, M. L. Nagornaja i A. Hiebjankin:** Nachhaltige Effizienz bei der Kühlung von Reis während der Lagerung. - Mukomol´no Elevatornaja i Kombikormovaja Promyshlennost, Moskau, (1977) 2, st. 13 - 14
20. **Scherer, R., H.D. Kutzbach, M.Thaler** und **H.M. Müller:** Atmungswärme und Atmunsgverluste von Körnermais. - Grundl. Landtechnik **30** (1980) 4
21. **Scholz, B.:** Atmungsverluste bei Weizen in Abhängigkeit von Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt des Getreides. - Dissertation, Bonn (1960).
22. **Schuh H.:** Krebs aus der Kornkammer - Die ZEIT **44** (1989) 13
23. **Skriegen, E.:** Risiken bei der Nacherntebehandlung von Getreide. - Die Mühle + Mischfuttertechnik **126** (1989) 39, S. 560 - 561
24. **Skriegen, E.:** Kaltlagerung von Körnerraps. - RAPS 7 (1989) 2, S. 78 - 87
25. **Skriegen, E.:** Belüftungstrocknung - ein Ersatz für Warmlufttrocknung und Kühlung? - Getreide, Mehl und Brot **43** (1989) 9, s. 263 - 267
26. **Skriegen, E.:** Qualitätserhaltung geernteter Körnerfrüchte im Lager mit unterschiedlichen Verfahren und Kosten - Die Mühle + Mischfuttertechnik **129** (1992) 6, S. 67 - 70
27. **Skriegen, E.:** Trockenes Getreidelager zum Nulltarif? - Die Mühle + Mischfuttertechnik **129** (1992) 33, S. 452 - 453.
28. **Skriegen, E.:** Kaltlagerung von Körnerfrüchten in Silos - Die Mühle + Mischfuttertechnik **130** (1993) 11, S. 125 - 129 und 12, S. 142 - 144
29. **TGL 29844** (1985): Belüftung von Körnerfrüchten - Verlag für Standardisierung, Leipzig
30. **Varga, I.:** A Dél-Alföldröl származó szemester-mények mikrobiológiai állapota. (Mikrobiologischer Zustand von Körnerfrüchten aus dem Anbaugebiet Südliche Tiefebene) - Gaboaipar **35**, Budapest (1989) 3, ol. 105 - 198
31. **Wicker, F.R.:** Schimmelpilze und die mikrobiologische Kontamination des Getreides - Die Mühle + Mischfuttertechnik **128** (1991) 6, S. 68 - 69

Impressum

Herausgeber: Goldsaat Agrartechnik GmbH
Autor: E. Skriegan, Remscheid
Vermerk: Kühlung von Körnerfrüchten: Referat anlässlich einer Getreidetagung in Polen, im März 1992 (aktualisiert)

© Goldsaat Agrartechnik GmbH, 2008. Veröffentlichungen, auch auszugsweise, nur mit Einverständnis des Herausgebers.

- *Technik für rieselfähige Güter*
- *Kühlgeräte*
- *Trocknungstechnik*
- *Warmlufterzeuger*
- *Silotechnik*
- *Fördertechnik*

business worldwide

Getreide:

reinigen, trocknen und kühlen

goldsaat® AGRARTECHNIK

Fördertechnik:
Schonende Förderung von rieselfähigen Gütern

Trocknungstechnik:
ökologisch und ökonomisch ideal zur Sicherung Ihrer Erträge.

Kühltechnik:
chemiefreie Konservierung Ihrer Ernte!

Reinigungstechnik:
SIVO UL - lieferbar für Stundenleistungen von 20 - 200 t

Goldsaat Agrartechnik GmbH & Co. KG
Prümtalstraße 20
D-54595 Prüm/Eifel

Fon. +49 (0) 65 51 / 95 07 - 0
Fax. +49 (0) 65 51 / 95 07 34

e-mail: info@goldsaat.de
Internet: www.goldsaat.com

Die Firma Goldsaat arbeitet seit Jahrzehnten mit großem Erfolg auf dem Gebiet der Reinigungs-, Trocknungs- und Kühltechnik. Wir bieten Ihnen ein umfangreiches Liefer- und Zubehörprogramm!

- **Kühlgeräte**
- **Warmluftrockner**
- **Warmlufterzeuger**
- **Entstaubungseinrichtungen**
- **Saugventilatoren für Hochzellen**
- **Fahr- und tragbare Probenehmer**
- **Kanalsysteme für alle Bereiche der Getreidelagerung**
- **Belüftungsventilatoren mit und ohne Temperaturdifferenzschaltung**

Unsere Produkte und unsere Erfahrungen dienen der Qualitätssicherung & Qualitätserhaltung Ihrer Ernte!

Stand 01.07.08 Nr.001 | GS-Kühltechnik - Kühlung von Körnerfrüchten-K001 | DESIGN@BOHL.DE