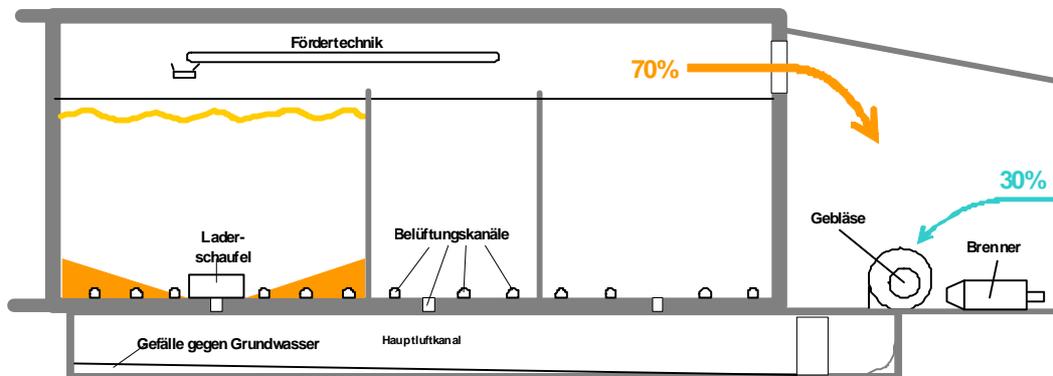




# Lagerbelüftungs- trocknung



Dr. Harald v. Keiser

November 1999

## **2. Nachdruck Oktober 2013**

### **Lagerbelüftungstrocknung**

Erstellt von Dr. Harald v. Keiser, RKL, Rendsburg - Osterrönfeld

Herausgeber:

Rationalisierungs - Kuratorium für Landwirtschaft ( RKL )

Leiter: Albert Spreu

Grüner Kamp 15-17

24768 Rendsburg

Tel: 04331 - 708110 ; Fax: 04331 – 7081120

Internet : [www.rkl-info.de](http://www.rkl-info.de)

Email : mail@rkl-info

Sonderdruck aus der RKL - Datenbank, Nr: 4.3.1.0, Seite 1021 - 1098

**Inhaltsangabe**

	Seite	
1	Einleitung.....	1024
2.	Belüftungsverfahren.....	1025
3	Ziele der hofeigenen Trocknung.....	1026
4	Grundlagen der Belüftungstrocknung.....	1027
4.1	Belüftungsmethoden.....	1028
4.2	Eigenschaften der Ernteprodukte.....	1029
4.2.1	Wasserabgabe an Körner.....	1029
4.2.2	Strömungswiderstand des Lagergutes.....	1032
4.2.3.	Mikroorganismenbesatz.....	1033
4.3	Eigenschaften der Trocknungsluft.....	1035
4.3.1	Feuchtegehalt der Luft.....	1035
4.3.2	Das Feuchtigkeitsgleichgewicht.....	1036
4.3.3	Regelung der relativen Luftfeuchte.....	1038
4.3.4	Erforderliche Luftrate.....	1040
4.3.5	Schütthöhe des Lagergutes.....	1041
4.3.6	Kondensatbildung an der Stapeloberfläche.....	1042
4.4	Eigenschaften der Bauhülle.....	1043
5.	Technik einer Belüftungstrocknung.....	1044
5.1	Befülltechnik für die Zellen.....	1045
5.2	Belüftungsgebläse.....	1050
5.2.1	Gebläseauswahl.....	1052
5.2.2	Gebläseantrieb.....	1054
5.2.3	Gebläseprüfung.....	1055
5.3	Warmlüfterzeuger.....	1057
5.4	Kanalsysteme.....	1059
5.4.1	Hauptluftkanäle.....	1060
5.4.2	Belüftungskanäle.....	1068
5.4.2.1	Bauweisen.....	1069
5.4.2.2	Planungsdaten für die Belüftungskanäle.....	1076
5.5	Schnellbelüftungszellen.....	1078
5.6	Anbau für Umluftbetrieb.....	1080
5.7	Meß- und Kontrollgeräte.....	1082
6.	Bedienungshinweise.....	1086
6.1	Getreideeinlagerung.....	1086
6.2	Feuchtigkeitsausgleich (Schwitzprozess).....	1086
6.3	Belüftungsintensität.....	1087
6.4	Regelung der Trocknungsluft.....	1087
6.5	Kondensatbildung an der Stapeloberfläche.....	1087
6.6	Ende der Belüftungstrocknung.....	1087
6.7	Unterbrechung der Belüftungstrocknung.....	1087
6.8	Kühlung des Getreides.....	1087
7.	Einsatzgrenzen der Lagerbelüftungstrocknung.....	1088
8.	Arbeitsaufwand bei Belüftungsanlagen.....	1090
9.	Kosten der Lagerbelüftungstrocknung.....	1092
10.	Marktangebot an Lagerbelüftungstrocknungen.....	1095
11.	Zusammenfassung.....	1097
12	Literaturverzeichnis.....	1098

---

# 1. Einleitung

Lagerbelüftungstrocknung ist die Trocknung von Erntegut direkt im Lager durch Belüftung mit Außenluft mit Hilfe eines Gebläses, eines Warmlufterzeugers und eines Kanalsystems.

Eine Belüftungsmöglichkeit gehört heute in jede Lagerzelle, weil mit Hilfe der Belüftung das Lagergut kostengünstig und mit einfacher Technik gesund erhalten werden kann. Dabei ist es gleichgültig, ob man mit dem Belüften eine Trocknung oder eine Kühlung durchführen will. Hier sind allerdings nur die Verfahren der Lagerbelüftungstrocknung beschrieben und nicht die Verfahren der Kühlung.

Die vorliegende Schrift beruht sowohl auf Erfahrungen, die praktische Landwirte in den letzten 20 Jahren mit ihren Belüftungsanlagen gesammelt haben, als auch auf Versuchsergebnissen, die verschiedene Institute des In- und Auslandes in dieser Zeit ermittelt haben. Der Inhalt dieser Broschüre ersetzt die RKL-Schriften „Belüftungstrocknung von Getreide (4.3.1.1, S. 639-678)“, Trocknungskanalabdeckung (4.3.1.1, S. 939-940)“ und „Bedienungshinweise für die Lagerbelüftungstrocknung (4.3.1.1, S. 955-958)“.

Wie man heute eine Lagerbelüftungstrocknung für Getreide und Raps bauen und betreiben sollte, wird in vorliegender Schrift erläutert.

Bei der Lagerbelüftungstrocknung ist die Pflege des Getreides im Lager, ohne dass dieses bewegt werden muss, kostengünstig. Sie spart Arbeit und macht die Nutzung sehr einfacher Lagerkapazitäten in vorhandenen Gebäuden möglich.

**Die Vor- und Nachteile der Lagerbelüftungstrocknung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:**

**Vorteile:**

- ⇒ Sehr hohe Annahmemeistung bei feuchtem, erntefrischn Getreide
- ⇒ Geringere Investitionen als bei Behältertrochnungsanlagen
- ⇒ Niedrigere Energiekosten als bei Behältertrochnungen
- ⇒ Schonende Trocknung aller Körnerfrüchte
- ⇒ Kaum Terminbindung für die Trochnungsdauer
- ⇒ Hohe Vielseitigkeit der Anlagen
- ⇒ Betriebseigene Montage der Technik
- ⇒ Gute Kombinationsmöglichkeiten mit Behältertrochnungen

**Nachteile:**

- ⇒ Längere Trocknungsdauer als bei Behältertrocknern
- ⇒ Schlechte Kontrolle der Kornfeuchtigkeit in der getrockneten Ware
- ⇒ Höhere TM-Verluste als bei Behältertrocknungen möglich
- ⇒ Anlagen sind nur für geringen Feuchtigkeitsentzug geeignet
- ⇒ Höherer Arbeitsaufwand für Kontrolle des Trocknungsprozesses als bei Behältertrocknern.

**2. Belüftungsverfahren**

Es gibt eine Vielzahl verschiedener Belüftungsverfahren. Die wichtigsten zeigt Tabelle 1.

**Tabelle 1:** Kenndaten verschiedener Belüftungsverfahren im Vergleich

Nr.	Verfahren	Ziel	Luftrate (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /h)	max. Lagerhöhe (m)	max. Kanalabstand (m)	max. Kornfeuchte (%)	Qualitäts- erhaltung *)
1	Minimal- belüftung	Wärme- abführung	5 - 7	6 - 8	2,0	bis 18	-
2	Kompressor- kühlung	Kühlung	10 - 15	15 - 20	4,0	bis 22	++
3	Kühlung mit Außenluft	Kühlung	15 - 20	10	3,0	bis 18	0
4	Rückkühlung nach Trocknung	Kühlung + Trocknung	20 - 25	10	3,0	bis 16	+
5	Lager- belüftungs- trocknung	Trocknung	70 - 75 30 - 40 15 - 20	3,0 4,0 5,0	1,5 1,8 2,0	bis 20 bis 18 bis 16	+
6	Behälter- belüftung	Trocknung	300 - 400	1,5	0,0	bis 22	0
7	Reife-Wärme- Methode (FGK)	Trocknung	10 - 20	8	4,0	ca. 20	--
8	natürliche Thermik (ΔT- 10°C)	Wärme- abführung	2 - 3	-	-	bis 16	-

\*) ++ = sehr gut; + = gut; 0 = mittel; - = schlecht; -- = sehr schlecht

Wir berechnen die Luftrate (= m<sup>3</sup> Luft je m<sup>3</sup> Getreide je Stunde) auf eine Trocknungsdauer von 10-14 Tagen.

Diese Broschüre befasst sich nur mit dem Verfahren Nr. 5.

### 3. Ziele der hofeigenen Trocknung

Die hofeigene Trocknung von Getreide in herkömmlichen Satz- oder Durchlauftrocknern (Behältertrockner) stößt auf vielen Betrieben an die Grenzen eines wirtschaftlich vertretbaren Einsatzes. Dafür können folgende Gründe angeführt werden:

1. Die ständig steigende Mähdrescherleistung wird durch die Trocknungskapazität begrenzt.
2. Die Arbeitsspitze während der Getreideernte wird durch eine gleichzeitige Trocknung zusätzlich belastet.
3. Die Technik der Behältertrocknung (Satz- und Durchlauftrockner) wird durch die Einrichtung elektronischer Steuerungsanlagen immer komplizierter und damit für das Bedienungspersonal oft unverständlich.
4. Viele Behältertrockner sind für Sonderkulturen (Grassaat, Rübensaat) nur schlecht geeignet. Außerdem besteht bei Saatgutproduktion die Gefahr der Keimschädigung, weil mit hohen Lufttemperaturen getrocknet wird.
5. Behältertrocknungen erlauben keine Pflege des Getreides im Lager selbst. Es müssen zusätzliche Investitionen getroffen werden für die Lagerbelüftung oder -kühlung (Gebläse, Luftkanäle) beziehungsweise für das Umlaufenlassen von Getreide (Manipulationszellen, Fördergeräte).
6. Die weitere Entwicklung der Energiepreise ist ungewiß. Je langsamer man trocknet, desto geringer ist der Energieverbrauch.

Wer versucht, seine gestiegene Mähdruschkapazität mit einer höheren Leistung des Behältertrockners aufzufangen, handelt in vielen Fällen ökonomisch falsch, da dann eine insgesamt konstant gebliebene Getreidemenge mit zusätzlichen Investitionen belastet wird.

Das hat folgende betriebswirtschaftliche Auswirkungen:

- ⇒ steigende Festkosten für die Anlage
- ⇒ höhere Förderkapazitäten
- ⇒ schlechte Auslastung der Trocknung.

Ca. 80 % der Trocknungskosten sind heute Festkosten für die Investitionen der Anlage. Diese Kosten sollten Anlaß sein, das bisherige Konzept der hofeigenen Trocknung einmal neu zu überdenken und die Ziele neu zu formulieren.

**1. Ziel**

Man sollte die Trocknung von der Ernte trennen, dann kann sie die Mähdruschleistung nicht mehr begrenzen. Die Annahmekapazität muss hoch sein, die Trocknungsanlage sollte aber nicht mitwachsen. Verlegt man die Trocknung direkt in das Getreidelager, kann ein besonderer Pufferbehälter für die stoßweise anfallenden Feuchtgetreidemengen und ein separater Trocknungsbehälter entfallen.

**2. Ziel**

Die Trocknung sollte langsam und schonend erfolgen. Man kann bei gleicher Leistung sowohl kleinere Getreidemengen in kurzer Zeit sehr scharf trocknen - wie in den Behältertrocknern - als auch große Mengen über einen langen Zeitraum mit geringer Luftanwärmung. Damit läßt sich gleichzeitig der Heizölbedarf senken.

**3. Ziel**

Alle Trocknungsanlagen sollten vielseitig, einfach zu bedienen und funktionssicher sein, ohne dass eine regelmäßige Kontrolle in der Ernte erforderlich ist. Nur dann können termingebundene Arbeiten weitgehend vermieden und der gesamte Arbeitsaufwand gesenkt werden. Anzustreben sind ferner einfache Bauformen, die einen weitgehenden Eigenbau der Anlage zu einer arbeitsärmeren Zeit gestatten.

**4. Ziel**

Trocknung allein ist ein absolut sicheres Konservierungsverfahren nur dann, wenn man das Getreide auf weniger als 12 % Feuchtegehalt heruntertrocknet. Nur dann ist eine qualitätserhaltende Dauerlagerung möglich. Das bedeutet jedoch einen Geldverlust durch Unterfeuchtigkeit von ca. 0,60-0,80 DM/dt getrocknetes Getreide. Trocknet man das Getreide nur auf ca. 15 % herunter, muss es entweder umgelagert oder belüftet werden, damit es nicht verdirbt.

**4. Grundlagen der Lagerbelüftungstrocknung**

Bei der Lagerbelüftungstrocknung erfolgt die Trocknung nicht in speziellen Trocknungsbehältern - wie bei Satz- oder Durchlauftrocknern-, sondern im Lager selbst. Hierbei wird das natürliche Trocknungsvermögen der Außenluft genutzt und die Trocknungsluft nur über die relative Luftfeuchtigkeit geregelt. Die Leistung der Anlage ist beeinflussbar durch einen höheren Luftdurchsatz, aber niemals über eine zusätzliche Anwärmung der Trocknungsluft. Das führt zu einem schonenden und energiearmen Trocknungsprozess.

Entscheidende Punkte für eine gleichmäßige Trocknung des Erntegutes sind die schichtweise Einlagerung des Getreides, die Vermeidung von Verdichtungszone

Lager durch Schüttkegelbildung und eine exakte Luftverteilung im Stapel über ausreichend bemessene Belüftungskanäle.

## 4.1 Belüftungsmethoden

Bei der Lagerbelüftungstrocknung unterscheiden wir je nach den betrieblichen Rahmendaten drei unterschiedliche Belüftungsmethoden:

- ⇒ Belüftungstrocknung mit Frischluft
- ⇒ Belüftungstrocknung mit Umluft aus dem Lagergebäude
- ⇒ Intervallbelüftung nur am Tage.

Die Belüftungstrocknung mit Frischluft ist das Verfahren der Vergangenheit. Hiermit hat es häufig Trocknungsprobleme und Wiederbefeuchtungen des Getreides in den Nachtstunden gegeben.

Die Belüftungstrocknung mit Umluft (bei ca. 70% Umluftanteil) ist das Verfahren der Zukunft, weil hier weniger Regelungsprobleme auftauchen und eine erhebliche Leistungssteigerung ohne zusätzlichen Energieaufwand möglich ist.

Intervallbelüftung sollte man nur dann betreiben, wenn nachts Lärmprobleme durch das Gebläse auftreten.

Vergleichsdaten einer Versuchsanlage zu diesen drei Methoden zeigt Tabelle 2.

**Tabelle 2:** Vergleich verschiedener Belüftungsmethoden

<b>Werte</b> \ <b>Verfahren</b>	<b>Frischluft kontinuierlich</b>	<b>Umluft kontinuierlich</b>	<b>Frischluft Intervallbetrieb</b>
<b>Trocknungsdauer</b> je Tag (Std.)	24	24	12
<b>Außenluft</b>			
Lufttemperatur (°C)	6 - 31	15 - 21	11 - 31
rel. Luftfeuchte (%)	30 - 100	55 - 85	30 - 100
(Ø)	80	81	72
<b>erforderliche Luftanwärmung</b> (°C)	8	4	8
<b>Trocknungsluft (im Hauptluftkanal)</b>			
rel. Luftfeuchte (%)	30 - 65	55 - 65	30 - 65
Lufttemperatur (°C)	12 - 31	18 - 22	15 - 31
(Ø)	15	20	25
<b>Wasseraufnahme der Trocknungsluft</b> (g/m <sup>3</sup> )	1,0	1,5	2,0

Die Tabelle 2 zeigt, dass mit Umluft (Umluftanteil von ca. 70%)

1. die Temperaturschwankungen der Trocknungsluft deutlich reduziert werden können,
2. nachts wärmere Trocknungsluft zur Verfügung steht durch die höhere Temperatur der Umluft;
3. die feuchtere Umluft am Tag eine Untertrocknung des Getreides verhindert;
4. der Energiebedarf zur Luftanwärmung nur halb so hoch ist wie beim Frischluftbetrieb und
5. die Trocknungsluft bis zu 50 % mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann als bei Frischluftbetrieb.

### **1. Grundsatz**

Nutzen Sie bei der Belüftungstrocknung die Vorteile des Umluftbetriebes.

Der Betrieb einer Lagerbelüftungstrocknung erfordert vom Landwirt viel Verständnis für die biochemischen Vorgänge in den eingelagerten Ernteprodukten sowie für die physikalischen Eigenschaften der Trocknungsluft. Nur wer diese Zusammenhänge erkannt hat, kann die Belüftungstrocknung problemlos und kostengünstig anwenden.

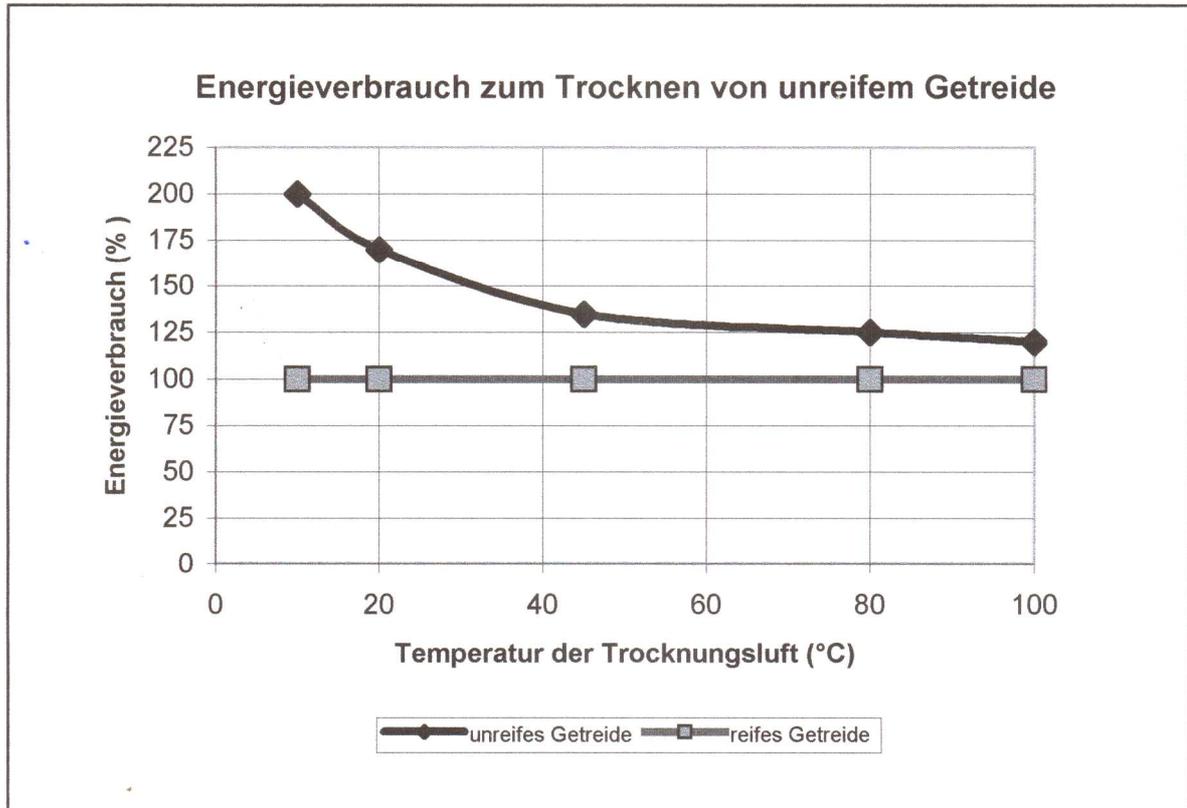
## **4.2 Eigenschaften der Ernteprodukte**

Bei der Belüftungstrocknung sind wichtige Eigenschaften der Ernteprodukte zu beachten: die Wasserabgabe der Körner, der Strömungswiderstand im Lagerstapel und die Qualitätsveränderung durch Keimung oder Wachstum von Mikroorganismen.

### **4.2.1 Wasserabgabe der Körner**

Der Feuchtegehalt der Körner befindet sich beim Drusch vorwiegend im Inneren der Körner und nur morgens beim Tau oder nach kurzen Regenschauern außen auf der Kornschale. Diese Feuchtigkeit an der Kornoberfläche kann mit hoher Geschwindigkeit abgegeben werden. Der Feuchteentzug ist 3-4 mal so hoch wie beim Entzug von Feuchtigkeit aus dem Inneren der Körner.

Die Feuchtigkeit im Inneren der Körner kann entweder biochemisch gebunden sein (vegetatives Wasser) oder befindet sich als „freies Wasser“ chemisch ungebunden zwischen den Zellen. Vegetatives Wasser findet man vor allem in unreifen Körnern, die als Zwiewuchs sichtbar in den Fahrgassen auftreten oder bei zu frühem Drusch weitgehend unsichtbar im gesamten Bestand verteilt sind.



**Abbildung 1:** Energieverbrauch bei Trocknung von unreifem Getreide - bezogen auf den Energieverbrauch beim Trocknen von totreifem Getreide

**Beispiel:** Wenn man unreifes Getreide in einer Belüftungstrocknung mit Luft von 15°C trocknen will, beträgt der Energieverbrauch ca. 200 % gegenüber der Trocknung von reifem Getreide (100 %). Die Trocknung von unreifem Getreide dauert also ungefähr doppelt so lange wie beim Trocknen von reifem Getreide.

Das Entziehen von vegetativem Wasser aus den Körnern ist erheblich energieaufwendiger als der Entzug von freiem Wasser (Abb. 1).

Der in Abb. 1 dargestellte Energieverbrauch ist auch beim Trocknen von Raps festzustellen, nicht aber beim Trocknen von Grassaat.

Ausschlaggebend für die Geschwindigkeit der Feuchtigkeitsabgabe ist auch die Größe der Körner und die Beschaffenheit der Kornschale. Je kleiner die Körner sind, desto schneller erfolgt in allen Fällen die Feuchtigkeitsabgabe. Gleichzeitig verursachen kleine Körner aber einen höheren Strömungswiderstand im Stapel, so dass nur weniger Trocknungsluft durchgesetzt werden kann.

Vergleicht man den Wassergehalt der Abluft über dem Körnerstapel, dann enthält die Abluft von Raps ca. 20 % mehr Wasser als die Abluft von Weizen. Vergleicht man die Werte von Weizen mit Erbsen und Ackerbohnen, ist festzustellen, dass die Abluft über Erbsen und Bohnen 20-50 % weniger Wasser enthält als bei Weizen. Die Gründe für diesen schlechten Wirkungsgrad sind hier nicht nur die größeren Körnern,

sondern auch die harten Schalen, die für die Feuchtigkeit nahezu undurchdringlich sind, so dass das Wasser über den Keimling entweichen muss.

Eine Verbesserung der Trocknungsleistung erreicht man durch das Einschalten eines Schwitzprozesses vor der eigentlichen Belüftungstrocknung. Dabei wird das zu trocknende, feuchte Getreide ohne Belüftung in einer Zelle eingelagert. Das führt dazu, dass die zu entziehende Feuchtigkeit aus dem Korninneren in den Schalenbereich gelangt und dabei die Schale wasserdurchlässiger macht, so dass die Feuchtigkeit schneller entzogen werden kann.

Warten Sie bei einem Schwitzprozeß nie auf einen Temperaturanstieg. Es reicht, wenn man einen Feuchtigkeitsausgleich im Korn erreicht. Eine Qualitätsminderung ist bei Feuchtegehalten unterhalb von 21 % innerhalb von 24 Stunden nicht zu befürchten, sofern das Getreide vorher gereinigt wurde.

Ein Schwitzprozeß ist bei fast allen Früchten vorteilhaft: für kleinkörnige Früchte wie Raps und Rübsen ist er weniger interessant, besonders wichtig ist er dagegen für großkörnige Früchte wie Bohnen oder Erbsen.

Die Rahmendaten für einen geeigneten Schwitzprozeß vor der Belüftungstrocknung zeigt Abbildung 2.

<b>Schwitzprozeß im Getreidelager</b>	
<b>Einsatzbereich:</b>	15 - 21 % Feuchtegehalt 12 - 24 Std. Dauer
<b>Ziele:</b>	Weniger Trocknungsenergie (15-25 %) Fallzahlanstieg (erst nach 10 Tagen) Feuchteausgleich zwischen den Körnern
<b>Nachteile:</b>	Keimstimmung (>48 Std.; >25°C, >85 % Lf) Mikroorganismenwachstum (>65 % rel. Lf; >10°C) Trockenmasseverlust (0,2 % bei 10°C Temperaturanstieg)
<b>Energieherkunft:</b>	Zwiewuchs (Wirkung nach 12 Std.) Mikroorganismen (Wirkung nach 5 Tagen, Anteil 90-95 %) Getreidekeimung, Kornatmung (Wirkung nach 5-10 Tagen)

**Abbildung 2:** Schwitzprozeß im Getreidelager

## 2.Grundsatz

Beginnen Sie die Belüftungstrocknung mit einem Schwitzprozeß,  
sofern Sie weniger als 6 % Feuchtigkeit entziehen wollen!

### 4.2.2 Strömungswiderstand des Lagergutes

**Tabelle 3:** Durchschnittliche Strömungswiderstände von Weizen in mm WS - inklusive eines ausreichend bemessenen Kanalwiderstandes bei unterschiedlichen Luftraten ( $\text{m}^3/\text{m}^3/\text{h}$ ) und unterschiedlichen Schütthöhen (m)

Luftrate	reicht für ..... % Feuchteentzug	Schütthöhe			
		2	3	4	5
15	1	10	25	35	40
30	2	30	50	65	75
45	3	75	115	140	180
60	4	110	150	185	215

Wir haben in vielen Jahren und an vielen Anlagen die Strömungswiderstände im Weizenstapel gemessen und die Durchschnittswerte in Tabelle3 zusammengetragen. Eingelagert war jeweils vorgereinigter Weizen. Mit zunehmender Feuchtigkeit in den Körnern werden diese weich und elastisch, so dass sie sich durch den Druck des Stapelgewichtes verformen können. Das beginnt bei Getreide bei 21 - 22% Kornfeuchtigkeit. Der Strömungswiderstand im Getreidestapel steigt bei höheren Feuchtegehalten dann überproportional an. Die Schütthöhe des Lagergutes muss dann auf maximal 3m reduziert werden.

Die von dem Belüftungsgebläse erzeugte Trocknungsluft muss für die Trocknung nicht nur den Widerstand der Belüftungskanäle überwinden, sondern vor allem den Widerstand des Lagergutes. Dieser ist abhängig von der Größe der Körner (je kleiner die Körner, desto größer ist der Strömungswiderstand), von der Schütthöhe im Lager und von der durchgesetzten Luftrate. Selbstverständlich haben auch Beimengungen und Bruchkornanteile einen negativen Einfluß auf den Strömungswiderstand. Wie hoch der Strömungswiderstand der einzelnen Früchte in Relation zueinander ist, zeigt Tabelle 4.

**Tabelle 4:** Strömungswiderstände verschiedener Früchte  
(Messungen aus der Praxis)

	Relativer Strömungswiderstand bezogen auf Weizen (%)	Strömungswiderstand (bei 3 m Schütthöhe + 50 m <sup>3</sup> Luftrate)	
		(Pa)	(mm WS)
Weizen	100	1370	140
Gerste	120	1570	160
Hafer	150	1960	200
Roggen	110	1470	150
Raps	250	3230	330
Mais	65	880	90
Erbsen	55	730	75
Bohnen	50	680	70

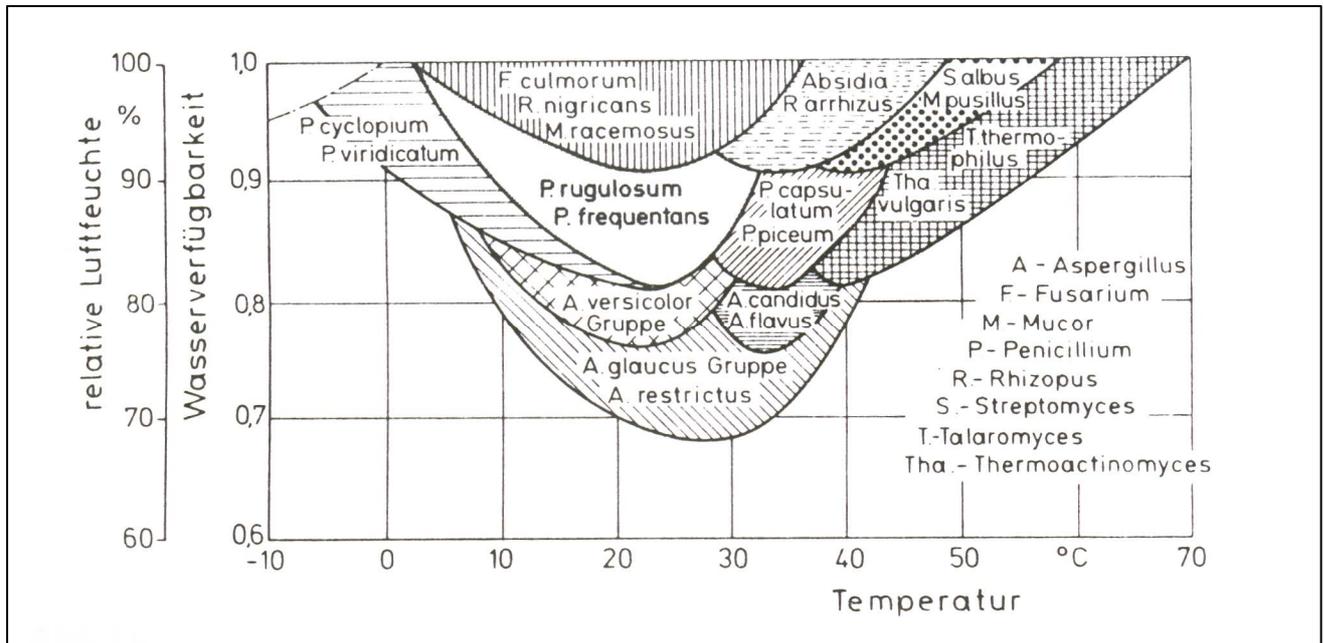
Bei der Planung von Lagerbelüftungstrocknungen kann man nicht auf alle Früchte Rücksicht nehmen. Es wird hier ausnahmslos mit einem Durchschnittswert des Strömungswiderstandes für alle Getreidearten gerechnet. Dabei wird der Wert von Gerste zugrunde gelegt. Für Raps wird mit dem doppelten Strömungswiderstand kalkuliert, so dass man Raps nur halb so hoch schütten darf wie Getreide.

### 4.2.3 Mikroorganismenbesatz

Erntefrisches Getreide hat einen natürlichen Besatz an Mikroorganismen (Pilze, Bakterien, Hefen) auf und in den Körnern. Er steigt bei nasser Witterung, bei mangelndem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und bei hohem Spelzenanteil im Lagergut.

Für den Landwirt ist es wichtig zu wissen, dass Mikroorganismen sich besonders schnell vermehren bei Temperaturen von 20 - 30 C und einer relativen Luftfeuchte von mindestens 68%. Das sind die optimalen Wachstumsbedingungen für mikrobielle Verderbererreger. Mikroorganismen können sich jedoch auch schon dann vermehren - besonders in den oberen Lagerschichten - , wenn das Getreide länger als drei Wochen einen Feuchtegehalt von über 18 % aufweist.

Bei welchen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten im Lager optimale Bedingungen für Mikroorganismen herrschen, zeigt Abb. 3.



**Abbildung 3:** Feuchte- und Temperaturbereiche für das Wachstum mikrobieller Verderbererger nach Lacey, Hill und Edwards

Wer Pilzwachstum sicher vermeiden will, benötigt eine Mindest-Luftrate von

**15 m<sup>3</sup> Luft je m<sup>3</sup> Getreide je Stunde je % Feuchtigkeitsentzug.**

Dieser Wert muss auf die größtmögliche, gleichzeitig zu belüftende Erntemenge bezogen werden.

**Beispiel:**

⇒ *Erntemenge Weizen = 1.500 m<sup>3</sup> (= 1.125 t)*

⇒ *Durchschnittlicher Feuchteentzug = 2 % (Trocknung von 17 auf 15 %)*

⇒ *Erforderliche Luftrate = 30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/h (2 x 15m<sup>3</sup>)*

⇒ *Gesamtluftmenge = 45.000 m<sup>3</sup>/h (30 x 1.500 m<sup>3</sup>)*

### 3. Grundsatz:

Planen Sie die Belüftungstrocknung mit einer ausreichend hohen Luftrate, damit das Getreide in einem „normalen Jahr“ spätestens nach 14 Tagen trocken ist.

### 4.3 Eigenschaften der Trocknungsluft

Belüftungstrocknung arbeitet mit der natürlichen Trocknungsleistung der Außenluft. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen muss sie zusätzlich erwärmt oder getrocknet werden, damit keine Wiederbefeuchtung der Getreidekörner im Lager stattfindet.

In Regionen, in denen nur selten trocknungsfähige Luftkonditionen herrschen, sollten keine Belüftungstrocknungen eingebaut werden. Hier sind oft andere Trocknungsverfahren kostengünstiger.

#### 4.3.1 Feuchtegehalte der Luft

Die Wasseraufnahmefähigkeit der Luft und damit die Trocknungsleistung steigt mit zunehmender Lufttemperatur deutlich an. Die theoretisch erreichbare Wasseraufnahme bei der Belüftungstrocknung konnten wir allerdings in der Praxis nie erreichen. Deshalb ist in Tabelle 4 neben der theoretisch möglichen Wasseraufnahme auch die von uns in der Praxis ermittelte Wasseraufnahme enthalten. Die Werte zeigen deutlich, dass man während der Belüftungstrocknung immer eine möglichst hohe Temperatur - mindestens aber 10°C - einhalten sollte. Durch die Nutzung von Umluft ist dieses auch nachts problemlos möglich.

**Tabelle 5:** Feuchtegehalte von Trocknungsluft

Luft- temperatur  (%)	rel. Luftfeuchte bei 1)		Wasseraufnahme der Trocknungsluft	
	(80 %)	(65 %)	theoretisch 2) (g/m <sup>3</sup> )	Praxiswerte (g/m <sup>3</sup> )
0	3,9	3,2	0,7	-0,5
4	5,4	4,4	1,0	0,0
10	7,6	6,1	1,5	0,5
15	10,2	8,3	1,9	1,0
20	13,8	11,3	2,5	1,5
25	18,5	14,7	3,8	2,0
30	24,4	19,7	4,7	2,5

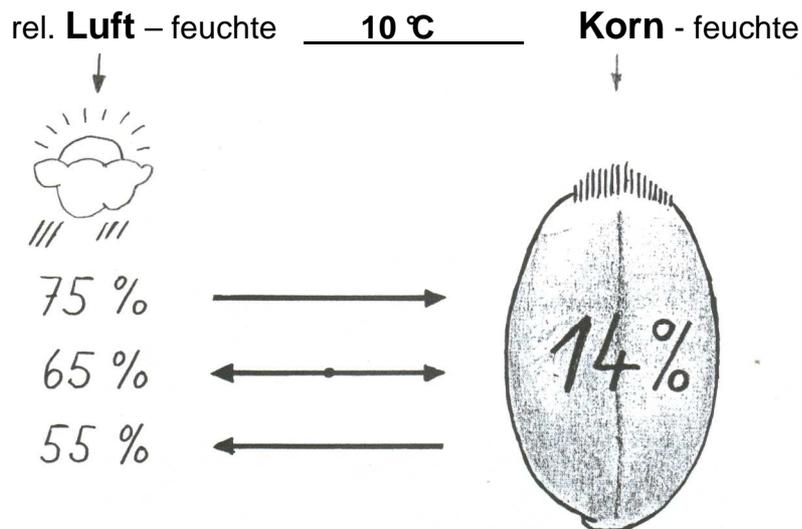
1) 80 % rel. Luftfeuchte = 18 % Kornfeuchte  
65 % Luftfeuchte = 15 % Kornfeuchte

2) Differenz der Wassergehalte von Luft mit 65 % und 80 % Luftfeuchte  
= Anfeuchtung der Luft von 65 % auf 80 % beim Trocknen.

### 4.3.2 Das Feuchtigkeitsgleichgewicht

Die relative Luftfeuchtigkeit der Trocknungsluft und der Kornfeuchtegehalt des Ernteproduktes stehen in einer festen Relation zueinander. Das heißt: wenn die Körner mit Luft einer konstanten relativen Luftfeuchte belüftet werden, stellt sich bald in den Körnern der entsprechend gleich hohe Kornfeuchtegehalt ein.

#### Feuchtigkeits - Gleichgewicht



**Abbildung 4:** Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen der rel. Luftfeuchtigkeit und der Kornfeuchtigkeit

Luft mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % kann Getreide auf ca. 14 % heruntertrocknen. Ist die Luftfeuchtigkeit höher, wird 14-%iges Getreide wiederbefeuchtet, ist sie niedriger, wird 14-%iges Getreide noch weiter heruntergetrocknet.

Damit man gegen Ende einer Belüftungstrocknung auch noch eine gute Trocknungsleistung erreicht, darf man nicht exakt das Feuchtigkeitsgleichgewicht einstellen, das der gewünschten Endfeuchtigkeit entspricht, sondern einen Wert der relativen Luftfeuchtigkeit, der ca. 5 % niedriger liegt. Für nahezu alle bekannten Früchte kann man also eine relative Luftfeuchte von 65 % einstellen.

Tabelle 6 zeigt Gleichgewichtsfeuchtegehalte für die wichtigsten Mähdruschfrüchte, die für eine Belüftungstrocknung in Frage kommen.

**Tabelle 6:** Feuchtigkeitsgleichgewichte landwirtschaftlicher Trocknungsprodukte bei 15°C (verschiedene Quellen)

Fruchtart	rel. Luftfeuchtigkeit (%)			
	60	65	70	75
Weizen	13,2	13,9	14,6	15,9
Gerste	13,2	14,1	15,0	16,1
Roggen	13,3	14,0	14,9	16,2
Hafer	12,5	13,3	14,3	15,4
Raps, Rübsen	7,4	8,0	8,8	10,2
Ackerbohnen	12,5	13,5	14,7	16,5
Erbsen	12,0	13,0	14,0	15,5
Sonnenblumen	8,1	9,5	10,2	11,8
Leinsamen	8,0	8,6	9,3	11,0
Hirse	12,5	13,5	14,8	16,0
Weidelgras	11,9	12,8	14,0	15,3
Mais	13,2	13,9	14,6	15,9

Wer bei der Belüftungstrocknung einen Teil der erforderlichen Wärmeenergie einsparen und einen Feuchtigkeitsausgleich im Stapel erreichen will, sollte in den ersten drei Tagen der zu erwartenden Trocknungsdauer eine relative Luftfeuchte von 70 % einstellen. Damit wird nur den feuchteren Körnern Feuchtigkeit entzogen und eine Untertrocknung der trockneren Körner vermieden.

Das oben angeführte Feuchtigkeitsgleichgewicht ändert sich auch in Abhängigkeit von der Lufttemperatur. Deshalb ist es wichtig, während der Belüftungstrocknung eine möglichst gleichmäßige Trocknungstemperatur zu erreichen. Das geschieht am einfachsten durch Nutzung von Umluft.

Eine Veränderung des Feuchtigkeitsgleichgewichtes ist aber auch bedeutsam in Jahren mit einer sehr späten Getreideernte. Wenn draußen niedrigere Lufttemperaturen herrschen als 15°C, muss man ein anderes Feuchtigkeitsgleichgewicht einstellen als in Tabelle 6 aufgeführt, damit das Lagergut auch trocken wird. Die von uns in der Praxis gefundenen Werte zeigt Tabelle 7.

**Tabelle 7:** Feuchtigkeitsgleichgewichte für 15 % Kornfeuchte bei veränderter Lufttemperatur

Temperatur der Trocknungsluft (°C)	20	15	10	5	0
einzustellende rel. Luftfeuchte (%)	68	65	62	59	56

Die in Tabelle 7 angegebenen Werte sind auch für Raps, Ackerbohnen und Erbsen anzuwenden.

Eine Veränderung der einzustellenden Gleichgewichtsfeuchte ist bei unreif geernteten Körnern nicht erforderlich. Die Trocknung dauert hier jedoch deutlich länger.

#### **4. Grundsatz:**

Stellen Sie eine relative Luftfeuchte von 65 % als Regelgröße zum Trocknen ein.  
Das reicht für den gesamten Trocknungsbetrieb. Nur beim Trocknen an kalten Herbsttagen muss man den Wert absenken.

### **4.3.3 Regelung der relativen Luftfeuchte**

Das Absenken der relativen Luftfeuchte bei feuchtem Wetter und in den Nachtstunden erfolgt heute fast ausnahmslos durch eine leichte Anwärmung der Trocknungsluft mit Heizöl oder Gas. Andere Methoden wie elektrische Anwärmung oder Luftentfeuchtung sind dagegen deutlich teurer und vom elektrischen Anschluß her in der Leistung stark begrenzt.

Erwärmt man die Trocknungsluft um 1°C, so sinkt die rel. Luftfeuchtigkeit um 5 %.

$$+ 1^{\circ}\text{C} \cong -5 \% \text{ rel. LF.}$$

Folgende Luftanwärmung muss man für einen reibungslosen Betrieb der Belüftungstrocknung vorsehen, damit auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen (Regen, niedrige Temperaturen) eine Trocknung möglich ist:

Frischlufbetrieb: 8°C

Umluftbetrieb: 4°C

Wer statt des Elektroantriebes ein Dieselaggregat oder einen Schlepper benutzt, kann die Abwärme der Verbrennungsmotoren nutzen. Diese Abwärme reicht aus, um die Lufttemperatur um 1-3°C anzuheben.

Anlagen mit dieselbetriebenem Gebläse benötigen für den funktionssicheren Betrieb einen zusätzlichen Warmluftheizer, sofern Luftfeuchtegehalte über 80 % auftreten und Kornfeuchtegehalte im Getreide unter 15 % (Raps = 9 %) erreicht werden sollen. Sie brauchen beim Frischluftbetrieb einen Warmluftheizer, dessen Leistung doppelt so hoch ist wie die Leistung des Dieselaggregates und beim Umluftbetrieb eine Brennerleistung, die der Leistung des Dieselaggregates gemessen in kW entspricht (Tab. 8).

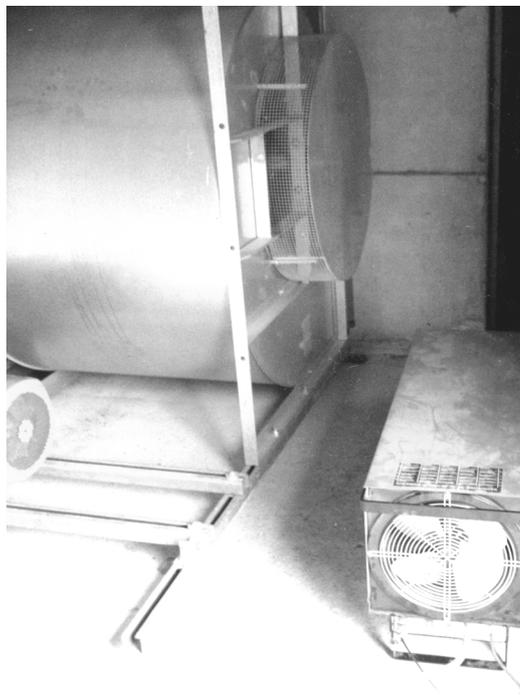
**Tabelle 8:** Brennerleistung für Belüftungstrocknung mit Dieselantrieb am Gebläse

	Dieselaggregat (kW)	Brennerleistung (kW)
Frischlufbetrieb	100	200
Umluftbetrieb	100	100

Die eingesetzten Heizölbrenner sollten möglichst indirekten Betrieb aufweisen, damit die beim Zu- und Abschalten entstehenden Rauchgase nicht in das Getreide gelangen. Für die problemlose Regelung der relativen Luftfeuchte benötigt man einen Hygrofühler mit einer Schaltgenauigkeit von  $\pm 3\%$ .

Gasbrenner entwickeln während des Betriebes weniger Rauchgase, weil sie im Leistungsbereich von 30-100 % der Geräteleistung stufenlos regelbar sind. Nachteilig ist aber die Tatsache, dass beim Verbrennen von 1 kg Gas 2-3 kg Wasser entstehen, was die relative Luftfeuchte zusätzlich anhebt. Beim Verbrennen von 1 kg Heizöl entsteht nur ca. 1 kg Wasser.

Ein weiterer Vorteil der Ölbrenner ist der problemlose Betrieb bei mobilen Anlagen. Der mobile Betrieb mit Gasflaschen ist zwar möglich, das Gas ist hierbei aber mehrfach teurer als Heizöl.

**Abbildung 5:** Gasbrenner sollten schräg oder quer vor dem Gebläse stehen, damit die Flamme nicht abgerissen wird.

Stellen Sie den Brenner niemals so auf, dass er genau mit der Flamme zum Gebläse zeigt. Es könnte sonst passieren, dass die Flamme vom Luftstrom des Gebläses abgerissen wird und der Brenner ausgeht (siehe Abb. 5).

### 5. Grundsatz:

Regeln Sie die Belüftungstrocknung immer mit einem elektronischen Meßgerät!

#### 4.3.4 Erforderliche Luftrate

Die Luftrate ist die durchgesetzte Luftmenge in  $\text{m}^3$  je  $\text{m}^3$  Getreide und Stunde. Diese Luftmenge muss so groß sein, dass das Getreide schneller trocken wird als eine Qualitätsminderung durch Pilze, Hefen, Bakterien, Atmung oder Keimstimmung zu befürchten ist.

Die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse mit Lagerbelüftungstrocknungen zeigen, dass die Luft beim Durchströmen des Getreidestapels nur eine begrenzte Feuchtigkeitsmenge aufnehmen kann (siehe Tab. 5). Der Umluftbetrieb zeigt dabei deutliche Leistungsvorteile gegenüber einem Frischluftbetrieb (siehe Tab. 2). Aus diesen Praxiswerten lassen sich folgende Mindest-Luftraten errechnen, damit das Getreide bei kontinuierlicher Belüftung in ca. 14 Tagen trocken ist:

##### **Frischluftbetrieb:**

20-25  $\text{m}^3$  Luftdurchsatz je  $\text{m}^3$  Lagergutmenge, die gleichzeitig belüftet werden soll, je % Feuchteentzug und je Stunde ( $\text{m}^3/\text{m}^3\%/h$ ).

##### **Umluftbetrieb:**

15  $\text{m}^3$  Luftdurchsatz je  $\text{m}^3$  Lagergutmenge, die gleichzeitig belüftet werden soll, je % Feuchteentzug je Stunde ( $\text{m}^3/\text{m}^3\%/h$ ).

##### **Beispiel:**

*Belüftungsverfahren: Umluftanlage*

*Gleichzeitig zu trocknende Lagergutmenge: 1.500  $\text{m}^3$*

*geplanter Feuchteentzug: 3 %*

*Wer in einer Umluftanlage seinem Getreide 3,0 % Feuchtigkeit entziehen will, benötigt eine Luftrate von  $3 \times 15 \text{ m}^3 = 45 \text{ m}^3$  je  $\text{m}^3$  Lagergut und Stunde. Bei einer gleichzeitig zu belüftenden Lagergutmenge von 1.500  $\text{m}^3$  braucht man also ein Gebläse mit einer Luftleistung von 67.500  $\text{m}^3$  Luft je Stunde.*

Für eine Kühlung des Getreides im Lager sollte man ebenfalls eine Mindestluftrate von 15  $\text{m}^3$  Luft je  $\text{m}^3$  Getreide je Stunde fahren, wenn man mit unbehandelter

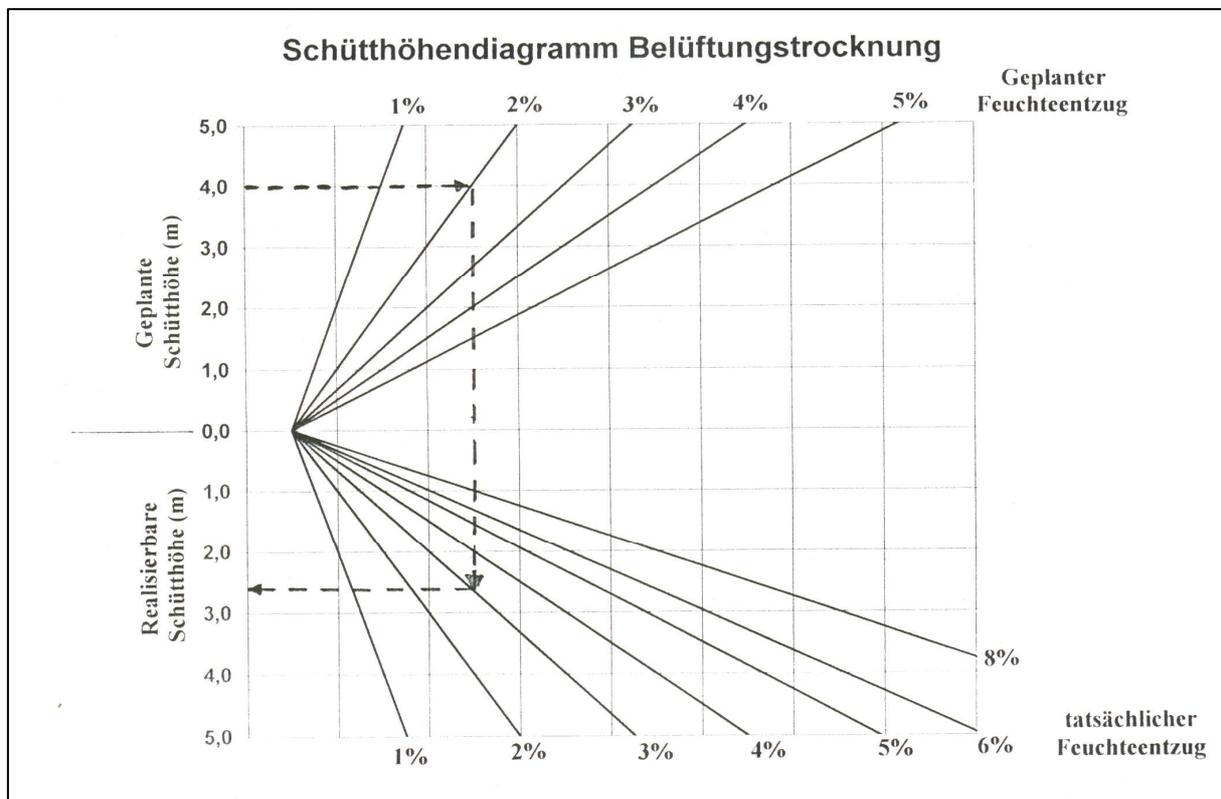
Nachtluft sein Getreide kühlen will. Eine gleichmäßige Luftverteilung im Getreidestapel wird damit sichergestellt.

### 6. Grundsatz:

Die Mindestluftfrate beträgt  $15 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{h}$ . Das reicht für Lagerbelüftungstrocknung um 1 % - aber auch für die Getreidekühlung.

### 4.3.5 Schütthöhe des Lagergutes

Bei jeder Belüftungstrocknung ist die maximale Schütthöhe der Ernteprodukte begrenzt durch den Strömungswiderstand des Lagergutes (siehe Kapitel 4.1.2) und durch das Druckvermögen des eingesetzten Gebläses. Beides muss so aufeinander abgestimmt sein, dass der Luftdurchsatz (Lufrate) durch den Stapel groß genug ist, damit die Körner schneller trocken werden als eine Qualitätsminderung der Körner eintreten kann. Man muss also bei der Einlagerung und Trocknung von feuchteren Körnern als es die Planungsdaten vorsehen, die Schütthöhe des Getreides reduzieren, damit die Trocknung nicht zu lange dauert. Genaue Umrechnungswerte zeigt Abbildung 6.



**Abbildung 6:** Schütthöhendiagramm zum Umrechnen der Schütthöhe für abweichende Erntefeuchtigkeiten im Lager

**Beispiel:**

*Hat man die Anlage mit 4 m Schütthöhe und 2 % Feuchteentzug geplant, darf man bei 3 % Feuchteentzug das Getreide nur ca. 2,7 m hoch schütten.*

**4.3.6 Kondensatbildung an der Stapeloberfläche**

Es kann bei der Lagerbelüftungstrocknung zu einer Anfeuchtung der Körner in den oberen 20 cm des Stapels und damit zur Bildung eines Kondensates kommen. Dieses reduziert dann den Luftdurchsatz beim Belüften. Falls eine derartige Kondensatschicht auftritt, muss man diese jeden Tag auflockern. Dazu fertigt man sich am besten eine Spezialharke mit ca. 20 cm langen Zinken und einem Zinkenabstand von ca. 15 cm.

Es gibt drei Ursachen, die für eine Kondensatbildung verantwortlich sein können:

1. das Getreide ist zu feucht,
2. die Außenluft ist zu kalt,
3. der Luftdruck im Kanalsystem ist zu hoch.

Zu 1:

In sehr feuchten Erntejahren muss man den Ernteprodukten bis über 6 % Feuchte entziehen (Getreide über 21 % und Raps über 14 % Feuchtegehalt). Dann nimmt die Trocknungsluft extrem viel Wasser auf, das beim Verlassen des Stapels nicht mehr gehalten werden kann. Das Wasser kondensiert an den obersten Körnern.

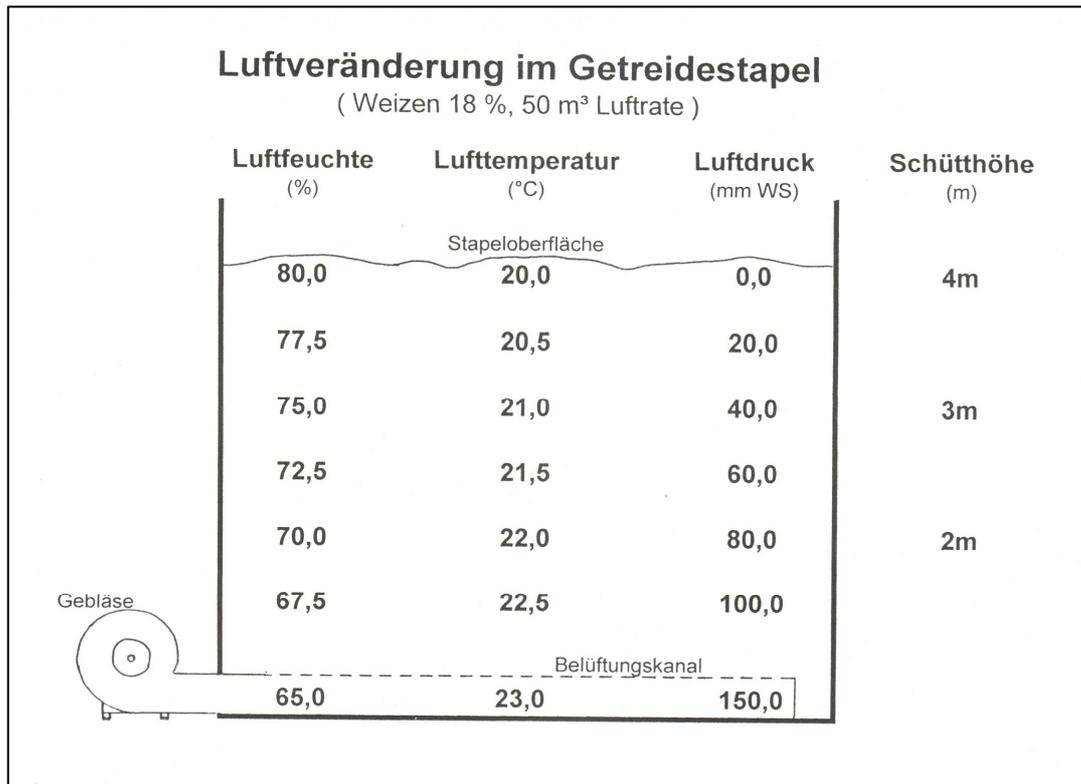
Zu 2:

In Jahren mit sehr niedrigen Außentemperaturen steigt die Kondensationsgefahr, weil die wärmere Luft aus dem Getreidestapel die Feuchtigkeit in der kälteren Außenluft nicht mehr als Dampf halten kann.

Zu 3:

Die Trocknungsluft wird im Kanalsystem der Anlage durch das Gebläse komprimiert, wodurch die Lufttemperatur dort ansteigt. Beim Durchströmen des Getreidestapels entspannt sich die Luft wieder, kühlt sich dabei ab und erreicht an der Stapeloberfläche wieder den normalen atmosphärischen Druck. Da aber die Regelung der Anlage mit dem Überdruck im Kanalsystem auf ca. 65 % rel. Luftfeuchte erfolgt, entsteht an der Stapeloberfläche durch die Abkühlung der Luft schnell eine relative Luftfeuchte oberhalb von 90 %. Besonders gefährdet sind Anlagen mit einem Luftdruck im Kanalsystem über 200 mm WS (ca. 2.000 Pa).

Die Zusammenhänge zeigt Abbildung 7.



**Abbildung 7:** Luftzustände im Getreidestapel während der Belüftung (Beispielswerte)

### 7. Grundsatz:

Planen Sie auf keinen Fall eine Anlage mit einem Strömungswiderstand, der über 200 mm Wassersäule liegt (ca. 2.000 Pa ).

Die Hauptursachen für einen zu hohen Strömungswiderstand sind zu suchen im Druckverlust in zu engen Kanälen, in Kanaleinbauten, die erhebliche Turbulenzen erzeugen können, und in zu knapp bemessenen Öffnungen der Belüftungskanäle (Berechnung der Kanäle siehe späteres Kapitel).

## 4.4 Eigenschaften der Bauhülle

Es ist für eine Belüftungstrocknung vollkommen gleichgültig, welchen Grundriß die Getreidezellen oder die Gebäude haben. Rechteckige Zellen sind genauso gut geeignet wie runde Silos. Wer jedoch eine wirksame Belüftung mit Umluft betreiben will, muss ein geeignetes Gebäude haben. Umluftbetrieb ist in außen aufgestellten Rundsilos nicht ratsam, da die Kondensationsgefahr unter den Silodächern zu hoch

ist und die Dachluken ständig geöffnet sein müssen, damit die Abluft entweichen kann.

Das gleiche Problem entsteht in Hallen mit einfachen Blechdächern, die keine „Antridrop-Beschichtung“ oder eine zusätzliche Wärmedämmung aufweisen. Schon bei Temperaturen im Gebäude, die 2-3°C höher liegen als im Freien, beginnt vor allem nachts eine Tropfenbildung an den Blechplatten.

Sehr viel besser geeignet sind Gebäude mit einer Eindeckung aus Wellfaser-Zementplatten oder mit einer unterbretterten Bitumeneindeckung. Wellfaser-Zementplatten beginnen in den meisten Fällen erst mit einer Tropfenbildung und Kondensation am Dach bei einer Temperaturdifferenz oberhalb von 10°C zwischen Innen- und Außentemperatur. Außerdem können diese Platten bis zu 3 l Wasser je m<sup>2</sup> an der rauhen Oberfläche halten, bevor sich die ersten Tropfen am Dach bilden.

Die Seitenwände der Gebäude dürfen hinsichtlich einer Kondensationsgefahr aus Stahlblech sein. Besser ist allerdings Baumaterial mit einer zusätzlichen Wärmedämmung. Ein Mehraufwand von 10 DM/m<sup>2</sup> Wandfläche macht sich schon in 5 Jahren bezahlt durch höhere Trocknungsleistung, verkürzte Trocknungszeiten und eingespartes Heizöl oder Heizgas.

Der Umluftbetrieb bei der Belüftungstrocknung funktioniert deutlich besser, wenn über dem Getreidestapel ein ausreichend großer Luftraum ist, damit sich die Abluft aus dem Getreidestapel mit der Hallenluft gut vermischen kann. Dieser Luftraum über den Lagerzellen sollte mindestens halb so groß sein wie die Lagerzellen selbst. Je größer dieser Luftraum ist, desto besser funktioniert der Umluftbetrieb.

## 5. Technik einer Belüftungstrocknung

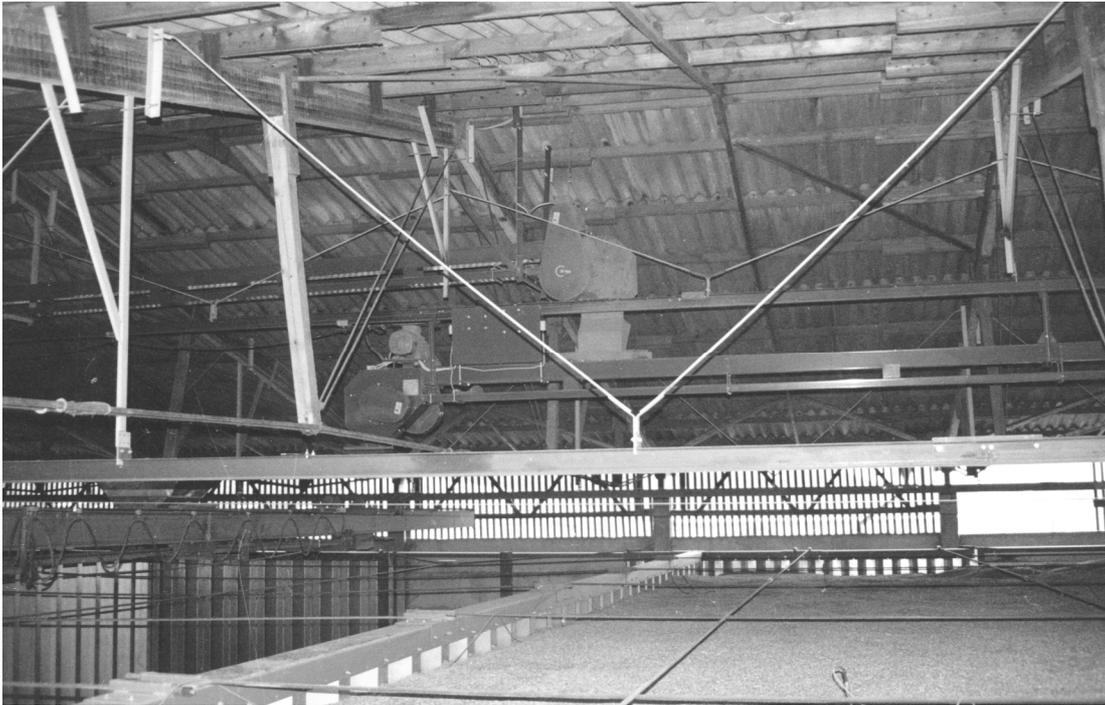
Folgende technische Geräte und Maschinen haben Einfluß auf die Leistungsfähigkeit und die Funktionssicherheit einer Lagerbelüftungstrocknung:

- ⇒ Befülltechnik für die Zellen
- ⇒ Belüftungskanäle
- ⇒ Belüftungsgebläse
- ⇒ Warmlufterzeuger
- ⇒ Regelungseinrichtungen

Sie sollen im einzelnen hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten und –grenzen beschrieben werden.

## 5.1 Befülltechnik für die Zellen

Eine gleichmäßige, schichtweise Befüllung der Trocknungszellen ist die wichtigste Voraussetzung für einen problemlosen Trocknungsablauf, vor allem bei Getreide-Erntefeuchtegehalten über 18 %. Die beste Verteiltechnik zum Befüllen gewährleisten Bandanlagen mit automatischer, kontinuierlicher Verteilung des Erntegutes über die gesamte Zellenfläche (siehe Abb. 8).

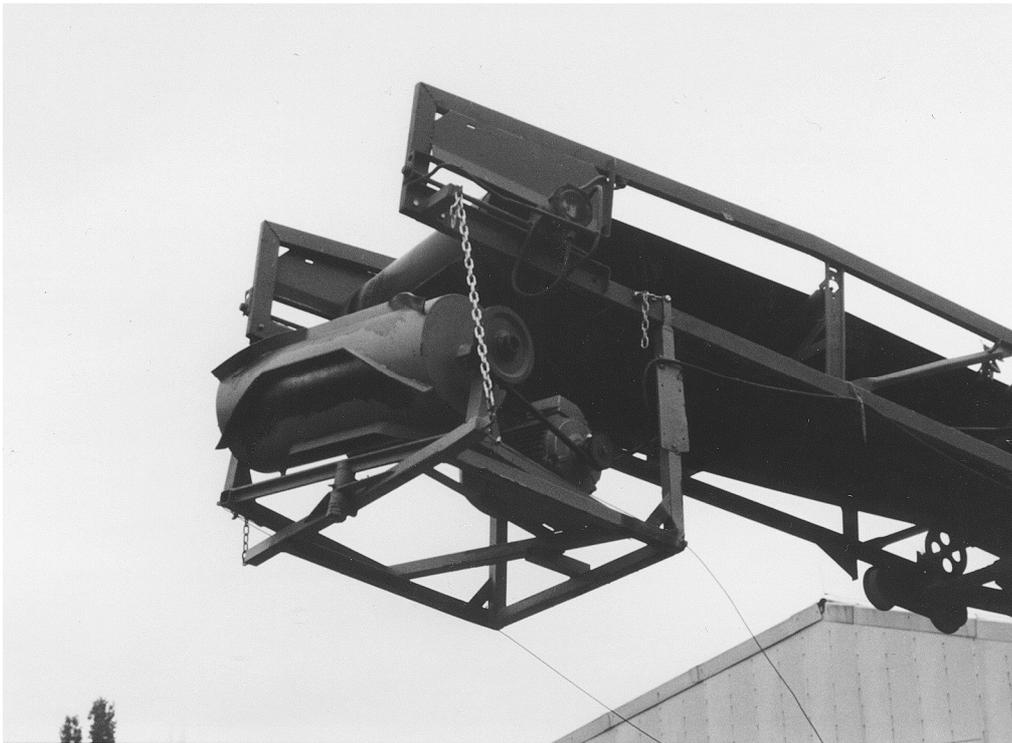


**Abbildung 8:** Bandanlagen zum gleichmäßigen Verteilen des Erntegutes in den Zellen

Statt der Bandanlagen sind aber auch andere Förderaggregate einsetzbar. Wichtig ist eine kontinuierliche ständige Veränderung der Abwurfstellen für das Erntegut, damit keine Schüttkegel entstehen. Gut geeignet sind auch Verteilanlagen aus Trogkettenförderern und Trogschnecken. Diese sollten im Abstand von ca. 50 cm Ausläufe im Bodenblech haben, die mit Hilfe von Verstellern soweit geöffnet werden, dass aus jedem Auslauf die gleiche Getreidemenge herausläuft. Sortenreinheit und exaktere Verteilung sprechen aber für Bandanlagen. Bei keiner Verteilanlage muss die Stapeloberfläche nach dem Befüllen der Zelle von Hand eingeebnet werden. Mit diesen Verteilanlagen kann man auch auf eine Vorreinigung des Erntegutes verzichten, da sich keine Verdichtungszone aus Bruchkorn bzw. Spelzen bilden können.

Ähnlich gut funktioniert auch der Einsatz von automatischen Boxenfüllgeräten aus den Kartoffellägern. Die Stapeloberfläche wird auch hier eben. Die Einlagerung in die Zellen erfolgt aber nicht schichtweise horizontal, sondern in schrägen Schichten, da die Zellen von hinten nach vorn zum Zelleneingang befüllt werden. Eine Vorreinigung des Erntegutes ist hierbei vor allem in Jahren mit Lagergetreide und hohen Erntefeuchtegehalten ratsam.

Sehr viel preiswerter für die Zellenbefüllung sind einfache Förderbänder mit einer angebauten Wurfrolle. Diese wirft das Fördergut noch einmal 3-5 m weiter, so dass das Fahrgestell des Förderbandes nicht im Getreidestapel stehen muss. Auch diese



**Abbildung 9:** Mobiles Förderband mit angebauter, schwenkbarer Wurfrolle (Dieckmann)

Wurfrollen (Abb. 9) können eine automatische Schwenkeinrichtung erhalten, so dass man Schüttkegel weitgehend vermeiden kann. Der Staubanfall ist bei dieser Befülltechnik aber deutlich höher als bei den stationären Verteilanlagen und den Boxenfüllern.

Derartige Förderbänder sollten mindestens 12 m lang sein, damit sie nicht zu steil aufgestellt werden müssen. Sie sollten außerdem eine Gurtbreite von 50 cm aufweisen, damit man die Wurfleistung der angebauten Wurfrolle ausschöpfen kann.

Die großen Getreidehallen in den Neuen Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland werden nach wie vor auch mit mobilen Radladern befüllt, die mit einem ca. 4 m langen Schiebeschild ausgerüstet sind. Damit kann man das Getreide bis auf ca. 4 m Höhe aufschieben. Schüttkegelbildung ist hiermit nicht zu befürchten. Derartige Schiebeschilder für Front-, Teleskop- oder Radlader baut zum Beispiel die

Fa. Steinhage (s. Kap. 10). Das selbstgebaute Schiebeschild von RKL-Landwirt M. Löwe, 23942 Wilmstorf, zeigt Abbildung 10.



**Abbildung 10:** Selbstgebautes Schiebeschild für die Befüllung von Getreide-Flachlagern zum Anbauen an einen Radlader

Denkbar ist auch der Einsatz von Standschleudern, sofern diese eine automatische Schwenkeinrichtung haben und nicht das Erntegut „mietenartig“ in der Lagerzelle einlagern und so Schüttkegel produzieren.

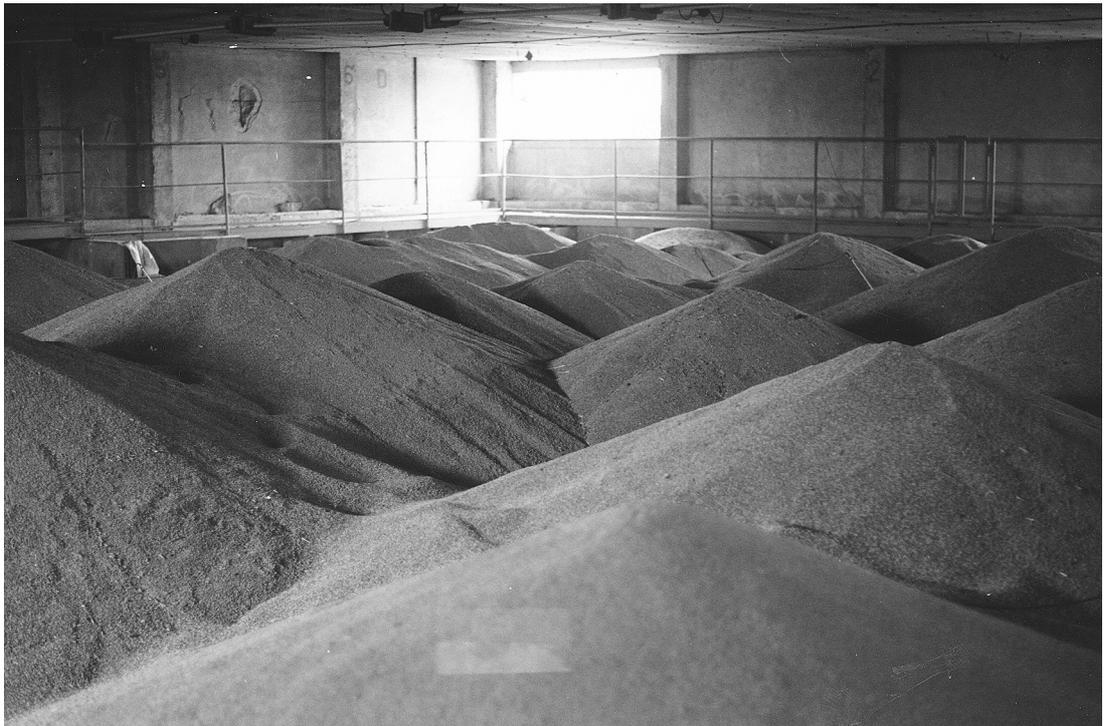
Der Staubanfall beim Betrieb von Standschleudern ist allerdings erheblich, so dass in regnerischen Erntejahren das Innere der Lagerhallen oft vor Staub kaum erkennbar ist. Eine Verbesserung der Situation erreicht man durch eine Reduzierung der Bandgeschwindigkeit und durch ein Zufüßförderband zum Beschicken der Schleuder. Wichtig ist im Befülltrichter der Schleuder ein Automatikschalter zum Abschalten des Förderbandes, falls die Schleuder verstopfen sollte. Nur so läßt sich vermeiden, dass man bei Störungen die Schleuder in einem Getreidehaufen "beerdigt". Viele Landwirte haben aus Kostengründen zu Anfang die Zellen mit einer Schleuder befüllt, aber nach einigen Jahren eine Verteilanlage eingebaut. Der anfallende Staub legt sich nicht nur auf den Getreidestapel nieder und behindert den Luftdurchsatz erheblich, sobald Kondensation auftritt, sondern er verschließt auch die bereits ausgelegten Belüftungskanäle in den noch leeren Nachbarzellen. Ein kurzes „Freiblasen“ vor dem Befüllen der Zelle ist dann ratsam.

Bei hohem Staubanfall sollte man am Tage auf den Umluftbetrieb verzichten und ausschließlich mit Frischluft arbeiten. Der Staub wird dann nicht aus dem Gebäude angesaugt und in die Belüftungskanäle gedrückt.

Die größten verfahrenstechnischen Probleme treten beim Befüllen der Lagerzellen mit Körnergebläsen auf: hoher Staubanfall, hoher Lärmpegel und hoher elektrischer Anschlußwert, intensive Schüttkegelbildung und geringe Funktionssicherheit.

Die Kegelbildung läßt sich vermindern, wenn man statt des Zyklons am Rohrende nur einen 90°-Krümmer anbringt. Dieser bremst das Getreide in der Rohrleitung so weit ab, dass die Körner nur noch ca. 5-6 m weit fliegen. Dadurch wird die Zelle mietenförmig befüllt. Beim Einsatz eines Körnergebläses muss zur Staubreduzierung auf jeden Fall eine Vorreinigung installiert werden. Wenn irgend möglich, sollte man für die Zellenbefüllung der Belüftungstrocknung eine andere Technik verwenden.

Schlechter noch sind alle Förderanlagen mit punktförmigem Getreideabwurf zu bewerten, die fest eingebaut sind oder während der Zellenbefüllung nicht bewegt werden können. In den Zellen werden so erhebliche Schüttkegel produziert. (siehe Abb. 11).

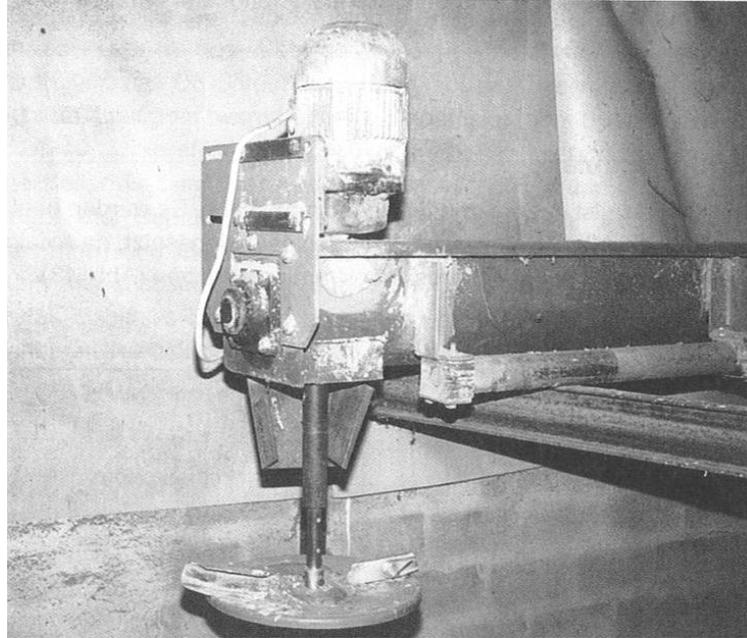


**Abbildung 11:** Schüttkegel bei Zellenbefüllung mit einer stationären Förderanlage und Verteilrohren

Auf jeden Fall müssen die Unebenheiten der Stapeloberfläche von Hand eingeebnet werden. Messungen des Luftdurchsatzes durch den Getreidestapel haben gezeigt, dass man in Zellen mit kegelartiger Befüllung auch nach der Einebnung der Kegel

Unterschiede in der Luftrate von 50 bis 200 % des Planwertes findet. Das bedeutet, dass eine gleichmäßige Belüftung hier nur möglich ist für einen maximalen Feuchtigkeitsentzug im Erntegut von 3%.

Schüttkegel bei stationären Befüllanlagen kann man auch mit Drehtellern vermeiden, die unter die Ausläufe des fest eingebauten Förderweges gehängt werden. Eine Selbstbaulösung zeigt Abbildung 12.



**Abbildung 12:** Drehteller zum Verteilen von Getreide und Raps in den Belüftungszellen. Als Drehteller dient eine Scheibe vom Düngerstreuer, die mit 350 U/min läuft (Bauweise H.D. Paulsen, Nordstrand)

Statt eines punktförmigen Schüttkegels wird hiermit ein atollförmiger Kranz in der Zelle abgelegt, der einen Durchmesser von ca. 3 m hat. Das einseitige Hochklappen einer Wurfschaufel auf dem Drehteller verbessert die Verteilung des Erntegutes.

Verteilaggregate, die keinen eigenen Antrieb haben, und durch das herabfallende Getreide gedreht werden, sind nahezu wirkungslos und erfordern eine Fallhöhe von 1-2 m zwischen dem Fördergerät und dem Verteilaggregat sowie eine Fallhöhe von weiteren 1-2 m unter dem Verteiler, damit überhaupt eine wirksame Verteilung erreicht werden kann. Die Investition derartiger Aggregate lohnt sich nicht.

Automatische Verteilanlagen ermöglichen einen gleichmäßigeren Luftdurchsatz, der auch ohne eine Vorreinigung erreicht wird.

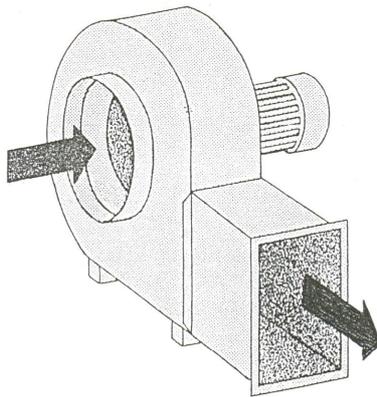
### 8. Grundsatz:

Gleichmäßiges, schichtweises Einlagern des Erntegutes erleichtert die Belüftungstrocknung erheblich, senkt die Feuchteschwankungen im Stapel, steigert die Trocknungsleistung und ermöglicht einen hohen Feuchteentzug.

## 5.2 Belüftungsgebläse

Das Belüftungsgebläse ist das Herz jeder Belüftungsanlage. Es werden heute fast ausnahmslos Radialgebläse (Bauweise Körnergebläse) eingesetzt, da Axialgebläse (Bauweise Stallventilator) ein geringeres Druckvermögen haben (Abb. 13).

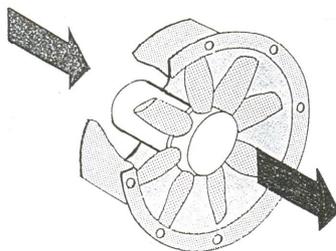
### Belüftungsgebläse



#### Radialgebläse :

Luftmenge = 1250 m<sup>3</sup>/kW Antrieb

Gebäsedruck = 200 mm WS



#### Axialgebläse :

Luftmenge = 2500 m<sup>3</sup>/kW Antrieb

Gebäsedruck = 100 mm WS

**Abbildung 13:** Bauweisen verschiedener Belüftungsgebläse

Belüftungsanlagen der ehemaligen DDR waren teilweise mit Axialventilatoren ausgerüstet. Will man die Leistungsfähigkeit dieser Anlagen erhöhen, sollte man notfalls zwei Ventilatoren hintereinander einbauen, um ein erhöhtes Druckvermögen zu erreichen. Der Luftdurchsatz bleibt bei dieser Kombination nahezu konstant, das Druckvermögen steigt aber fast auf den doppelten Wert. Der Kauf neuer Gebläse kann so vermieden werden. Im weiteren Verlauf werden nur noch Radialgebläse behandelt.

Die wichtigsten Details der Gebläse sind die Einströmdüse, die ein turbulenzfreies Ansaugen der Luft in das Gebläse besorgt, und das Ventilatorrad, das den Luftdurchsatz und das Druckvermögen des Gebläses bestimmt. Einströmdüsen und ausgewuchtete Laufräder werden fast ausnahmslos von Spezialisten gebaut (Fa. Punker, 24340 Eckernförde, Tel.: 04351-472-0). Hier beziehen die meisten Gebläsehersteller die Laufräder sowie die Einströmdüsen und erhalten eine geprüfte Kennlinie für die Gebläse. Diese Kennlinien enthalten nicht nur Angaben zu Luftmenge (m<sup>3</sup>/h) und Gebläse-Druckvermögen (mm WS oder Pa), sondern auch Daten zum Antriebsbedarf (kW) und zum Lärmpegel (db(A)). Je niedriger die Drehzahl des Gebläses ist, desto geringer sind auch der Lärmpegel des Gebläses, das erreichbare Druckvermögen und die geförderte Luftmenge.

Ändert man bei gleichbleibender Gebläsegröße die Drehzahl des Gebläses, gelten folgende Gesetzmäßigkeiten:

1. Der Volumenstrom (V) ändert sich proportional mit der Drehzahl (n)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

2. Der Druck (p) ändert sich mit dem Quadrat der Drehzahl (n) bzw. dem Quadrat des Volumenstromes.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2} = \frac{(V_1)^2}{(V_2)^2}$$

3. Der Antriebsbedarf (kW) an der Ventilatorwelle ändert sich in der dritten Potenz zu Drehzahl und Volumenstrom.

$$\frac{kW_1}{kW_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3} = \frac{(V_1)^3}{(V_2)^3}$$

Ein Beispiel wird in Tabelle 9 gezeigt:

**Tabelle 9:** Kennwerte eines Radialgebläses bei veränderter Drehzahl

			<b>Verhältnis</b>
Gebäsedrehzahl (U/min)	ca. 1.500	ca. 3.000	1 : 2
Volumenstrom (m <sup>3</sup> /h)	2.900	5.800	1 : 2
Druckvermögen (mm WS)	50	200	1 : 4
Antriebsbedarf (kW)	0,5	4,0	1 : 8
Lautstärke (dB(A))	80	95	1 : 1,2

Vergleicht man praxisübliche Gebläse mit gleichem Leistungsbedarf aber unterschiedlicher Drehzahl miteinander, ergibt sich folgendes Bild (Tab. 10):

**Tabelle 10:** Kennwerte von zwei Gebläsen mit gleichem Antriebsbedarf, aber mit unterschiedlicher Leistung

Gebäsedrehzahl (U/min)	1.500	3.000
Antriebsbedarf (kW)	4,0	4,0
Volumenstrom (m <sup>3</sup> /h)	7.000	5.800
Druckvermögen (mm WS)	140	200
Lautstärke	90	96

Die Daten aus Tabelle 9 zeigen, dass es nicht ratsam ist, nur wegen der Schalleistung ein schnellaufendes Gebläse (3.000 U/min) mit einem langsam laufenden Motor zu bestücken. Volumenstrom und Druckvermögen gehen derart weit zurück, dass kaum noch Leistung übrig bleibt. Tauscht man das schnellaufende Gebläse dagegen gegen ein langsam laufendes mit gleichem Antriebsbedarf (Tab. 10), steigt in den meisten Fällen der Volumenstrom an, das Druckvermögen geht allerdings um ca. 25 % zurück. Die Geräuschentwicklung wird deutlich reduziert.

### 5.2.1 Gebläseauswahl

Der Markt bietet ein reichhaltiges Angebot an Belüftungsgebläsen. Die Auswahl ist nicht immer einfach. Welche Punkte beim Kauf beachtet werden sollten, ist der nachfolgenden Checkliste zu entnehmen.

### Checkliste

- ⇒ Welche Drehzahl hat das Gebläse?
- ⇒ Welche Luftmenge wird bei 120 mm WS gefördert?
- ⇒ Welcher Maximaldruck kann aufgebaut werden?
- ⇒ Gibt es eine glaubwürdige Kennlinie?
- ⇒ Hat das Gebläse eine Einströmdüse aus Metall?
- ⇒ Ist der Gebläseläufer ausgewuchtet?
- ⇒ Wie hoch ist der Lärmpegel bei Nennleistung?
- ⇒ Gibt es einen Keilriemenantrieb zur Änderung der Drehzahl?

Manchmal sind auf den Betrieben auch gebrauchte Gebläse vorhanden, die unter Umständen einsetzbar sind. Sollten die technischen Daten dieser Gebläse unbekannt sein, sind folgende Punkte zu beachten:

1. Eine hohe Schaufelzahl des Gebläseläufers erhöht das Druckvermögen.
2. Die Schaufeln sollten rückwärts gekrümmt sein.
3. Je dicker das Blech des Gehäuses, desto leiser läuft das Gebläse.
4. Ein schmaler Spalt zwischen Gebläseläufer (Abb. 14) und Gebläsegehäuse sorgt für ein hohes Druckvermögen des Gebläses.
5. Gebläse mit Keilriemen oder Gelenkwellenantrieb erlauben eine stufenlose Veränderung der Drehzahl.

**Tabelle 11:** Elektrischer Antriebsbedarf von Belüftungsgebläsen unterschiedlicher Größe (Langsamläufer mit 1.500 U/min)

Gebläseantrieb (kW)	Luftleistung bei 1.200 Pa <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> /h)	spez. Antrieb (m <sup>3</sup> /kW)	max. Druckvermögen (Pa) <sup>1)</sup>
4,0	7.571	1.893	1.650
7,5	12.870	1.716	1.900
11,0	17.034	1.549	2.200
15,0	21.200	1.413	2.300
22,0	28.769	1.308	2.900
30,0	36.340	1.211	3.500
37,0	40.883	1.105	3.800

<sup>1)</sup> 10 Pa (Pascal) = ca. 1 mm WS (Wassersäule)

*Beispiel mit Daten aus Tabelle 11:*

*Statt eines 22 kW-Gebläses (ca. 29.000 m<sup>3</sup>/h bei 1.200 Pa) könnte man auch ein 7,5 kW-Gebläse und ein 11 kW-Gebläse (ca. 30.000 m<sup>3</sup>/h bei 1.200 Pa) kaufen. Sind nur kleinere Lagerzellen zu belüften, könnte man wahlweise das eine oder das andere Gebläse abschalten.*

Je größer ein Belüftungsgebläse ist, desto höher ist auch der spezifische Antriebsbedarf je 1.000 m<sup>3</sup> geförderte Luftmenge (Tab. 11).

Tabelle 11 zeigt auch, dass mit zunehmender Gebläsegröße das Druckvermögen ansteigt. Betriebe, die eine knapp bemessene Stromversorgung haben, sind deshalb besser beraten, statt eines großen Elektrogebläses lieber zwei kleinere zu kaufen. Stromverbrauch und Energiekosten lassen sich so deutlich reduzieren.

### **9. Grundsatz:**

Während der Trocknung sollte der Gebläsedruck maximal 200 mm WS (2.000 Pa) aufweisen. Höhere Drücke führen zu einer unkontrollierbaren Kondensationsgefahr im Getreide- oder Rapsstapel.

Warmfluterzeuger zum Anwärmen der Luft sollten niemals direkt an das Belüftungsgebläse angebaut sein. Die hohen Strömungswiderstände in den Warmfluterzeugern reduzieren die durchsetzbare Luftmenge und verlängern damit die Trocknungsdauer.

## **5.2.2 Gebläseantrieb**

Der Antrieb von Belüftungsgebläsen erfolgt mit:

- ⇒ Elektromotor,
- ⇒ Schlepperzapfwelle oder
- ⇒ Dieselmotor.

Gebläse bis zu 15 kW Antriebsbedarf werden meistens mit Strom betrieben. Die kleineren Einheiten sind fast immer Schnellläufer mit einer Drehzahl von ca. 3000 U/min, die größeren Gebläse laufen dagegen nur mit 1.500 U/min. Schnellläufer haben ein höheres Druckvermögen, erzeugen aber auch deutlich mehr Lärm als Langsamläufer. Die Elektromotoren können entweder direkt an den Gebläseläufer angebaut sein oder über ein Keilriemenvorgelege das Gebläselaufrad antreiben. Dabei ist der direkte Antrieb die preiswerteste Bauweise aller Gebläsebauformen.

Keilriemenvorgelege erfordern eine stabile Gebläse-Bauweise, damit sich das Gehäuse durch den Seitenzug des Keilriemens nicht verzieht. Vorteilhaft ist hier die einfache Veränderung der Gebläsedrehzahl durch Ändern der Keilriemensscheibendurchmesser. Diesen Vorteil haben auch Gebläse mit Zapfwellenantrieb und mit Dieselmotorantrieb. Die Veränderung der Drehzahl erlaubt zusätzlich eine optimale Anpassung der Luftmenge und des Luftdrucks an die zu belüftende Getreidemenge. Kondensation im Getreide- oder Rapsstapel kann man so sicherer vermeiden (siehe Kap. 4.2.6).

Zapfwell- oder dieselgetriebene Gebläse können die Abwärme des Antriebsaggregates vollständig nutzen, wenn dieses in einem geschlossenen wärmeisolierten Raum steht und die Abwärme vom Belüftungsgebläse angesaugt werden kann.

Zapfwellgetriebene Gebläse werden nur wenig eingesetzt, da während der Monate August bis Oktober in den meisten Ackerbaubetrieben kein Schlepper für die Lagerbelüftungstrocknung zur Verfügung steht. Anstatt eines Schleppers läßt sich aber auch ein gebrauchter Dieselmotor verwenden, der dann über eine Gelenkwelle mit dem Belüftungsgebläse verbunden wird.

Als Faustzahl für den erforderlichen Antrieb eines Belüftungsgebläses gilt, dass bei Umbau von Elektroantrieb auf Dieselantrieb je Elektro-kW zwei PS am Dieselmotor zur Verfügung stehen sollten.

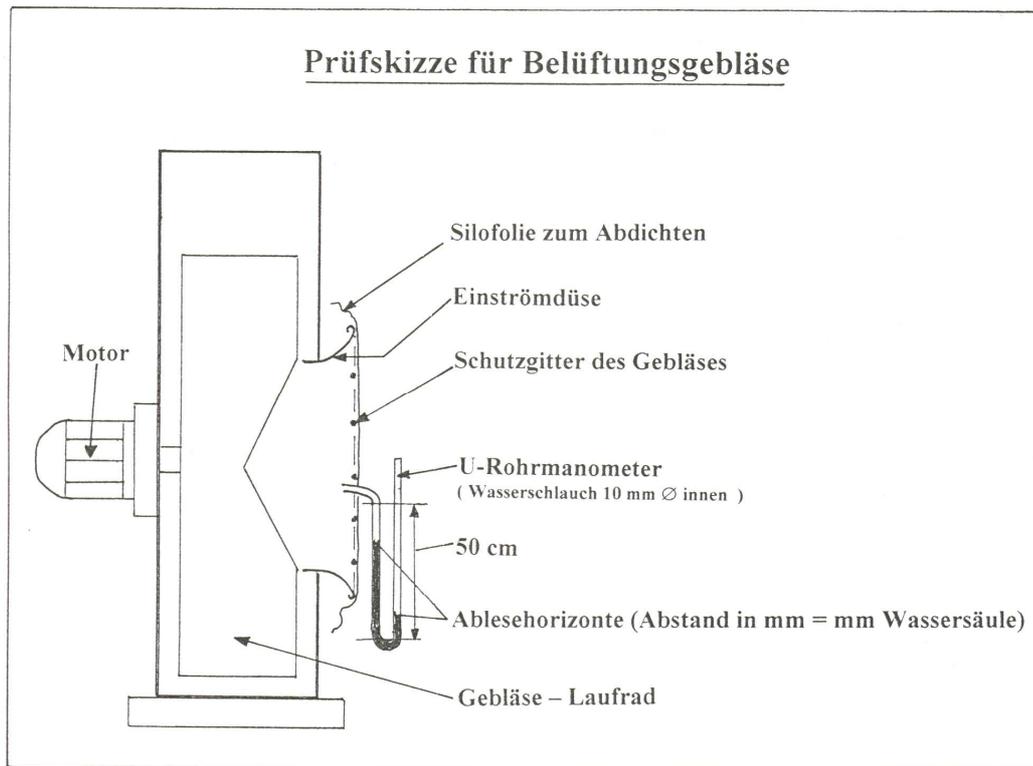
Die Preisunterschiede für die genannten Antriebsarten sind erheblich:

Gebläse mit Elektroantrieb	=	100 %
Gebläse mit Zapfwellenantrieb	=	85 – 90 %
Gebläse mit Dieselantrieb	=	175 – 180 %.

### 5.2.3 Gebläseprüfung

Der Einsatz gebrauchter oder unbekannter Gebläse erfordert neben dem elektrischen Antriebsbedarf, den man über den Motor ermitteln kann, auch Kenntnisse über die Kenndaten zur Luftförderung.

Am einfachsten ist die Ermittlung des maximalen Druckvermögens. Dazu läßt man das Gebläse laufen und deckt die Ansaugöffnung mit einer Folie ab, so dass keine Luft mehr gefördert wird (Abb. 14). Zwischen Folie und Laufrad baut sich dann das maximale Druckvermögen auf, dass man mit einem selbstgebautes U-Rohr-Manometer ermitteln kann (Abb. 15).



**Abbildung 14:** Prüfschema für Belüftungsbläse

Der so ermittelte Unterdruck zwischen Folie und Laufrad entspricht ungefähr dem maximalen Druckvermögen des Gebläses in der Druckleitung.

Das U-Rohr-Manometer:

Das Ablesen des erzeugten Gebläsedruckes am U-Rohr-Manometer erfolgt immer zwischen den Oberflächen der beiden Wassersäulen und wird in mm WS angegeben. Die wissenschaftliche Umrechnung in „Pascal“ = Pa beinhaltet als Multiplikator den Wert der Erdbeschleunigung von 9,81.

1 mm WS	≅	9,81 Pa
120 mm WS	≅	1.177 Pa
1.000 Pa	≅	102 mm WS.

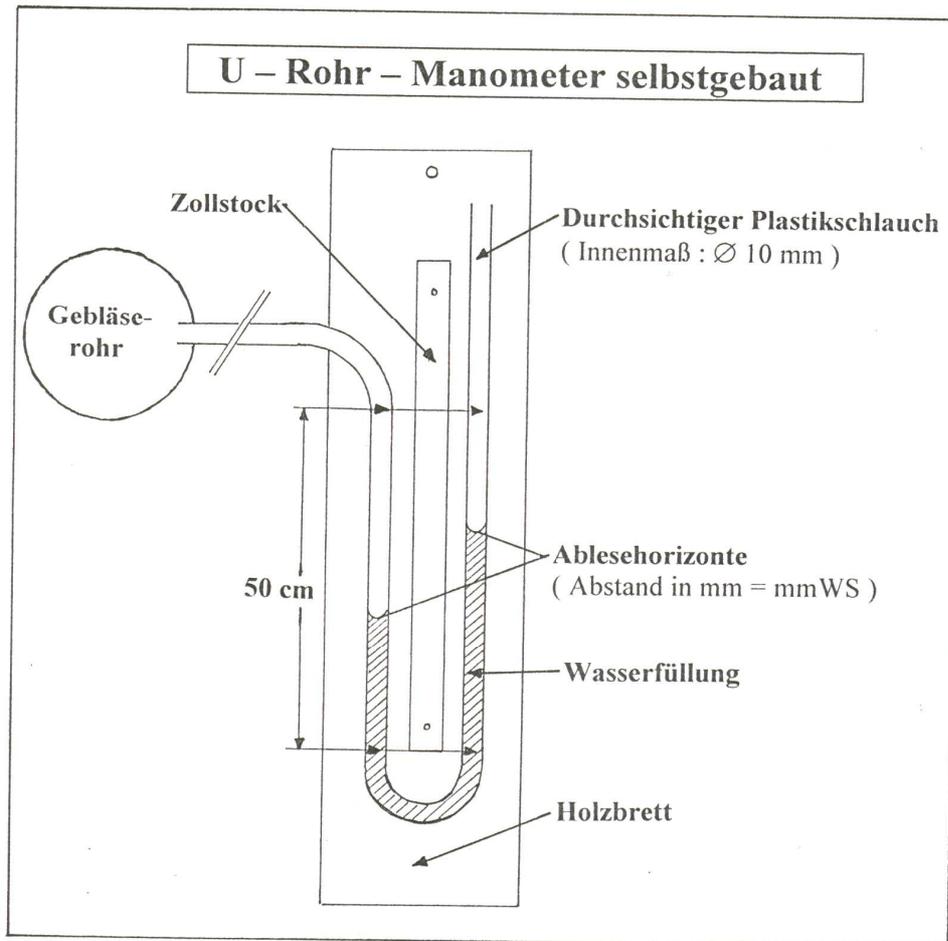


Abbildung 15: U-Rohr-Manometer selbstgebaut

### 5.3 Warmluftherzeuger

Lagerbelüftungstrocknungen, die auch nachts sicher arbeiten sollen, benötigen Warmluftherzeuger, die die Trocknungsluft auf die gewünschte relative Luftfeuchtigkeit von 60-65 % bringen können. Es werden hierfür gas- oder heizölbetriebene Warmluftherzeuger eingesetzt. Zu DDR-Zeiten verwendete man elektrische Heizregister, in ganz wenigen Fällen auch Luftentfeuchtungsaggregate. Elektrische Heizregister scheidet heute aus Kostengründen aus.

Gas- oder heizölbetriebene Warmluftherzeuger sollten immer Solitärgeräte sein. Das erleichtert den Einsatz an anderen Orten und zu anderen Jahreszeiten. Außerdem haben viele Warmluftherzeuger einen erheblichen Strömungswiderstand, der die Luftleistung des Belüftungsgebläses deutlich reduziert. Ferner besteht die Gefahr, dass die Flamme im Brenner abgerissen wird, wenn zu viel Luft durch den Warmluftherzeuger gesaugt werden muss.

Der Einsatz von direkt arbeitenden Warmluftzeugern ist für die Belüftungstrocknung nach wie vor erlaubt. Es gibt allerdings immer mehr Marktpartner, die dieses nicht wünschen (Hersteller von Babynahrung, Biobetriebe, Bierbrauereien, Spezialbäckereien usw.). Der Einsatz von indirekt arbeitenden Warmluftzeugern ist deshalb durchaus diskutabel.

Gasbrenner sind den Heizölbrennern deutlich überlegen:

1. Es entsteht keine Rußwolke beim Starten des Warmluftzeugers.
2. Die meisten Geräte sind im Leistungsbereich von 30-100 % stufenlos regelbar.

Kleinere Warmluftzeuger sollten deshalb möglichst Gasbrenner sein. Zwei-Stufen-Brenner mit zusätzlichem Wärmetauscher (indirekter Betrieb) dürfen dagegen auch heizölbetrieben sein. Wichtig ist, dass die erste Brennerstufe nur eine Leistung von 40 % der Gesamtleistung hat, damit man in der zweiten Stufe einen weiten Regelbereich am Brenner zur Verfügung hat.

Elektrisch betriebene Luftentfeuchter sind ebenfalls einsetzbar, aus wirtschaftlichen Gründen aber abzulehnen.

Wer sein Gebläse mit einem Verbrennungsmotor antreibt, sollte die Abwärme des Dieselaggregates für die Luftanwärmung mit nutzen. Je kW Antriebsleistung steht ca. 1 kW an nutzbarer Abwärme zur Verfügung. Aus diesem Grund sollten die Einhausungen für die Gebläse nicht nur schallisoliert, sondern auch wärmegeklämt gebaut sein. Mit dieser Maßnahme braucht man nur einen kleineren Warmluftzeuger. Die erforderliche Leistung des Warmluftzeugers (in kW) sollte so hoch sein wie der Antrieb des Dieselmotors (in kW).

#### **10. Grundsatz:**

Jede Belüftungsanlage benötigt einen Warmluftzeuger. Anlagen unter 100kW sollten einen stufenlos regelbaren Gas-Warmluftzeuger wählen, größere Anlagen einen indirekten Heizöl-Warmluftzeuger mit zwei Brennerstufen.

Denkbar ist auch eine Koppelung mit der Hausheizung. Räumliche Entfernungen, Leistungsunterschiede und zu geringe Regelbarkeit verbieten aber meistens diese Kombination.



**Abbildung 16:** Schleppergetriebene Gebläse können die Abwärme des Schleppers nutzen. Hier mit zusätzlich aufgebautem Gas-Warmlufterzeuger.

## 5.4 Kanalsysteme

Nahezu alle Kanalsysteme für eine Lagerbelüftungstrocknung bestehen aus einem Hauptluftkanal, der die Luftverteilung vom Gebläse zu den eigentlichen Belüftungskanälen übernimmt, und den nachfolgenden Belüftungskanälen oder -böden, die die Trocknungsluft an das Erntegut bringen.

Verbundsysteme haben einen gemeinsamen, begehbaren Hauptluftkanal für mehrere Lagerzellen, Einzelsysteme dagegen für jede Lagerzelle einen eigenen Hauptluftkanal, der nicht unbedingt begehrbar sein muss. Sind die Lagerzellen allerdings sehr groß und werden sie mit einem Lader befüllt, sollte man auch innerhalb einer Zelle mehrere getrennte Belüftungseinheiten einbauen, damit man schon bei teilweise gefüllter Zelle mit dem Belüften beginnen kann. Bei einem Verbundsystem darf das Gebläse fest montiert sein, bei Einzelsystemen muss es dagegen mobil sein und von Zelle zu Zelle gefahren werden. Das Gleiche gilt für den Warmlufterzeuger und die elektronische Regelung.

### 5.4.1 Hauptluftkanäle

Hauptluftkanäle werden heute meistens aus Beton, Mauerwerk, Beton-Fertigteilen, Stahl oder Holz selbst gebaut. Achten Sie bei gekauften Kanälen darauf, dass diese stabil genug gebaut sind, wenn sie im Getreide liegen. Einige Kanäle haben keinen statischen Nachweis, sie sind dann oft für Getreide-Schütthöhen über 4 m nicht geeignet. Bedenken Sie auch, dass neben dem Getreidedruck eventuell ein zusätzlicher Druck auf den Kanal durch den Lader beim Entleeren der Zellen entsteht.

Auch das Gebläse übt beim Belüften einen Druck auf die Kanalwand aus. Das ist vor allem bei Hauptluftkanälen in Verbundsystemen von Bedeutung, sofern noch einige Zellen leer sind. Der anfallende Druck beträgt  $1 \text{ kg/m}^2$  Wandfläche des Kanals je mm WS Gebläsedruck beim Belüften. Entsteht also beim Belüften ein Gebläsedruck von 180 mm WS (am U-Rohr-Manometer abzulesen), drückt die Luft mit  $180 \text{ kg/m}^2$  von innen auf die Kanalwand!

Der Hauptluftkanal sollte, wenn irgend möglich, im Getreidestapel liegen. Luftverluste durch Undichtigkeiten und leistungsmindernde Wärmeverluste sind dann nicht zu befürchten.

Ist es nicht möglich den Hauptluftkanal in die Getreidezelle zu bauen, sollte dieser wenigstens innerhalb des Gebäudes verlegt werden. Außerhalb des Gebäudes muss ein Hauptluftkanal gemauert sein, damit die Anlage gut funktioniert. Im Freien verlegte Stahlrohre wechseln durch Sonne und Regen oder Tag-Nacht-Temperaturschwankungen die Lufttemperatur in unzulässiger Höhe. Eine gleichmäßige Trocknung ist dann kaum noch zu erwarten. Es besteht an Regentagen und in den Nächten sogar die Gefahr einer Wiederbefeuchtung des Getreides. Abhilfe ist allerdings möglich durch:

- ⇒ Verwendung von wärmegeädämmtem Baumaterial
- ⇒ Intervallbelüftung nur am Tag, was aber die Leistung der Anlage stark reduziert
- ⇒ Einhausung des Kanals in Leichtbauweise.

Abbildung 17 zeigt die Bauweise für einen gemauerten Hauptluftkanal. Das schräge Dach sorgt für eine bessere Belüftung des Getreides über dem Kanal und erspart Handarbeit beim Entleeren der Zellen.

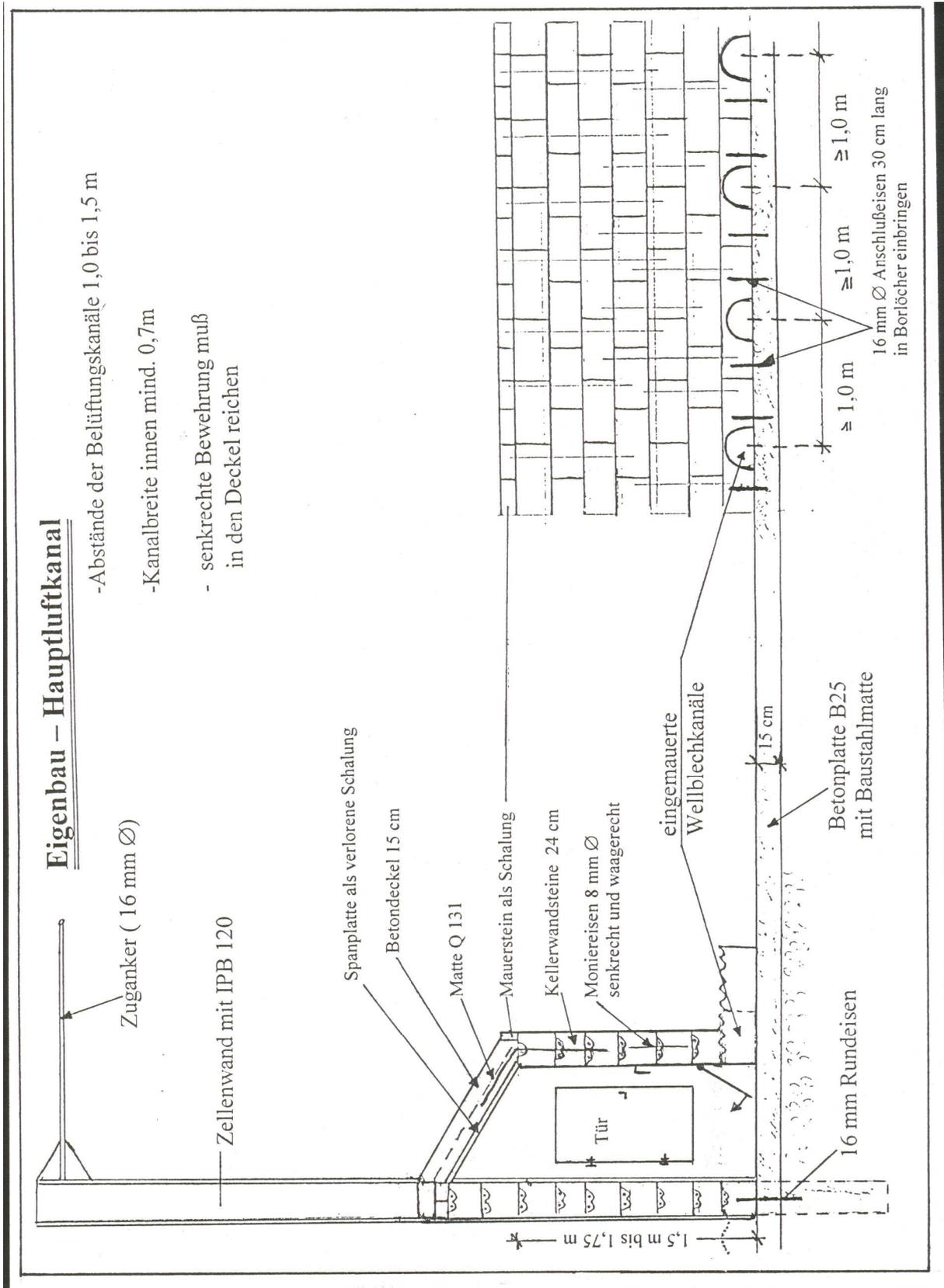


Abbildung 17: Selbstgebauter Hauptluftkanal (Entwurf H. Geerds)

Abbildung 18 zeigt den Bau eines gemauerten Hauptluftkanals mit vorgefertigten Deckenelementen, die in Eigenbau hergestellt wurden. Die fertigen Deckenelemente dienen hierbei als verlorene Schalung, auf die weitere 10-15 cm Beton aufgebracht werden, damit der Deckel stabil genug ist.



**Abbildung 18:** Kanalabdeckung mit selbstgegossenen Betonplatten, eingelegter Baustahlmatte und Montageösen zum Verlegen (Bauweise Ketelsen, Sönke-Nissen-Koog)

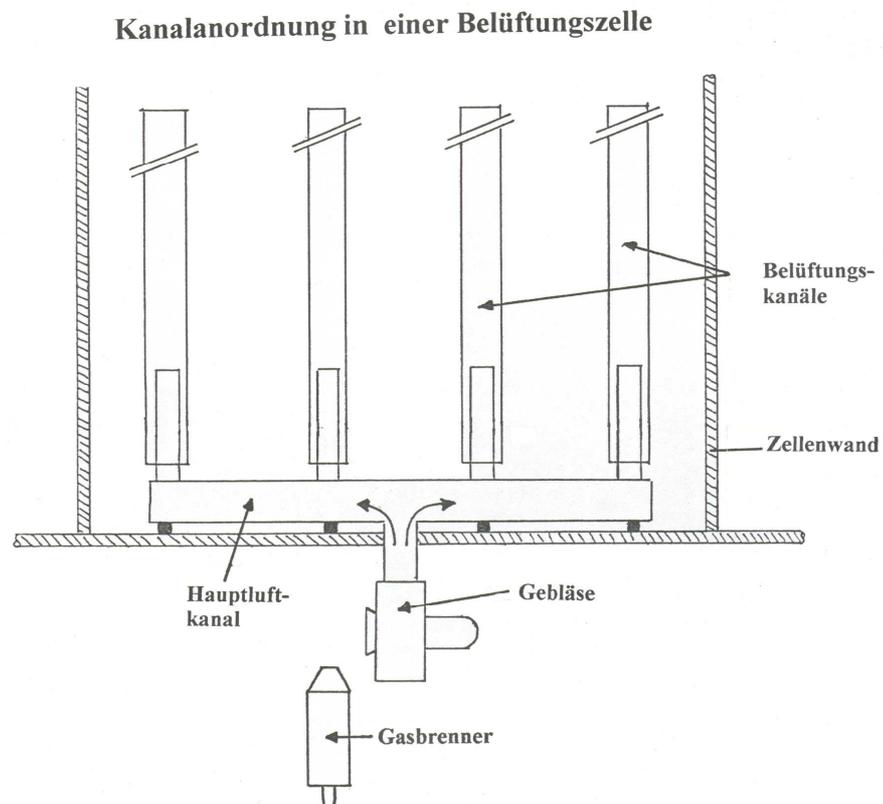
Werden die Zellen einzeln mit einem mobilen Belüftungsaggregat belüftet, reicht ein nicht begehbare Kanal, dessen Querschnitt für die durchsetzbare Luftmenge berechnet werden muss. In geschlossenen Hauptluftkanälen mit glatter Innenwand (keine Turbulenzen) sollte die Luftgeschwindigkeit nicht über 15 m/s betragen.

Meistens werden Stahlrohre verwendet, die mit Abstandshaltern ca. 10 cm von der Zellenwand und vom Fußboden aufgebaut werden sollen. Dann wirkt von allen Seiten der Getreidedruck auf das Rohr. Ein Eindrücken des Rohres ist dann kaum zu befürchten. Blechrohre mit einem Durchmesser über 80 cm sollten im Inneren zusätzliche Stabilisierungsringe aufweisen, damit sie nicht durch den Getreidedruck zusammen gedrückt werden. Tabelle 12 zeigt, wieviel Luft bei unterschiedlichen Rohrdurchmessern durchsetzbar sind.

**Tabelle 12:** Durchsetzbare Luftmengen für Stahlblechrohre

Rohrdurchmesser (cm)	Durchsetzbare Luftmenge Gebläseanschluß	
	seitlich am Rohrende (m <sup>3</sup> /h)	mittig am Rohr (s. Abb. 19) (m <sup>3</sup> /h)
20	1.690	3.220
30	3.800	7.220
40	6.800	12.920
50	10.600	20.140
60	15.300	29.070
70	20.800	38.760
80	27.100	51.395
90	34.300	65.170
100	42.400	80.560

Die optimale Anordnung der Aggregate mit einem Stahlrohr als Hauptluftkanal zeigt Abbildung 19.



**Abbildung 19:** Einzelzellenbelüftung mit mobiler Technik, Stahlrohrkanal und perforierten Wellblechkanälen

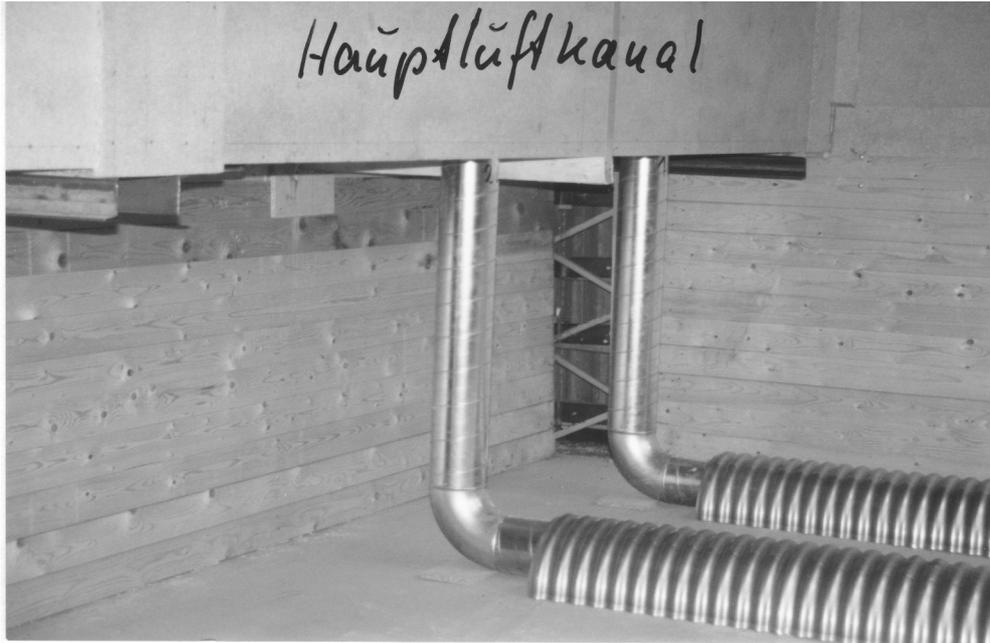
Eine gute Luftverteilung vom Hauptluftkanal auf die einzelnen seitlichen Belüftungskanäle wird dann erreicht, wenn die Summe der Querschnittsflächen aller Anschlußstutzen für die Belüftungskanäle genauso groß ist wie die Querschnittsfläche des Hauptluftkanals. Sind die seitlichen Rohrstutzen zu groß bemessen, wird die Trocknung in der Belüftungszelle ungleichmäßig, da die seitlichen Belüftungskanäle unterschiedliche Luftmengen durchsetzen. Sind die Querschnitte der seitlichen Anschlußstutzen dagegen zu knapp bemessen, baut sich im Hauptluftkanal ein zu hoher Druck auf und es geht Belüftungsleistung verloren. Tabelle 13 zeigt den erforderlichen Rohrdurchmesser für die seitlichen Anschlußstutzen in Abhängigkeit von deren Anzahl. Abweichungen bis zu  $\pm 10\%$  sind dabei verantwortbar.

**Tabelle 13:** Erforderlicher Durchmesser (cm) der seitlichen Belüftungstutzen am Hauptluftkanal in Abhängigkeit von deren Anzahl

Hauptluftkanal- Rohrdurchmesser (cm)	Anzahl seitlicher Anschlußstutzen (vom Gebläseeingang bis zum Ende des Hauptluftkanals)									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
30	20	15	12	-	-	-	-	-	-	-
40	-	20	16	14	-	-	-	-	-	-
50	-	25	18	16	14	-	-	-	-	-
60	-	-	24	21	19	17	16	14	12	-
70	-	-	29	25	22	20	19	17	16	15
80	-	-	-	28	25	23	21	20	19	18
100	-	-	-	-	-	-	-	25	23	21

Wenn irgend möglich, sollte man die seitlichen Anschlußstutzen aus biegsamem Drainrohr ( $\varnothing = 200$  mm) herstellen. Dann ist ein geringes Verschieben der Belüftungskanäle beim Befüllen der Zellen unproblematisch, weil kein Getreide in die Kanäle laufen kann. Die Anschlußstutzen oder Drainrohre sollten mind. 0,5 m unter die Belüftungskanäle reichen. Das gesamte Kanalsystem läßt sich bei dieser Materialwahl nach dem Entleeren aus den Zellen entfernen, so dass diese anderweitig genutzt werden können (Abb. 19).

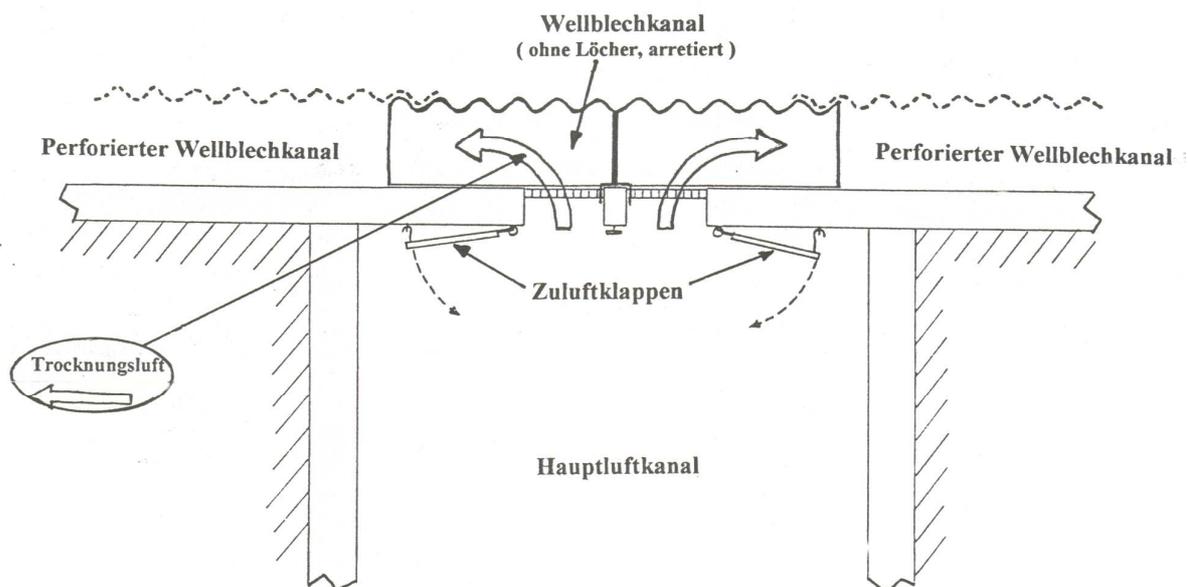
In den Zellen mit Radlader- oder Teleskopladerentleerung werden Hauptluftkanäle aus Holz oder Stahl schnell beschädigt. Dann ist es ratsam, diese Kanäle höher zu verlegen (siehe Abb. 20). Diese höher verlegten Kanäle dürfen aber nicht mehr im Getreide liegen, da sie beim Kühlen des Lagergutes unter dem Druck des Getreides zusammen gedrückt werden.



**Abbildung 20:** Hochverlegter Hauptluftkanal zum Schutz gegen Beschädigung beim Befüllen und Entleeren der Zellen

Die verfahrenstechnisch eleganteste Bauweise sind gemauerte Unterflurkanäle, die mittig im Gebäude verlegt werden. So erhält man sehr kurze seitliche Belüftungskanäle und kann problemlos mit einem mobilen Lader entleert werden.

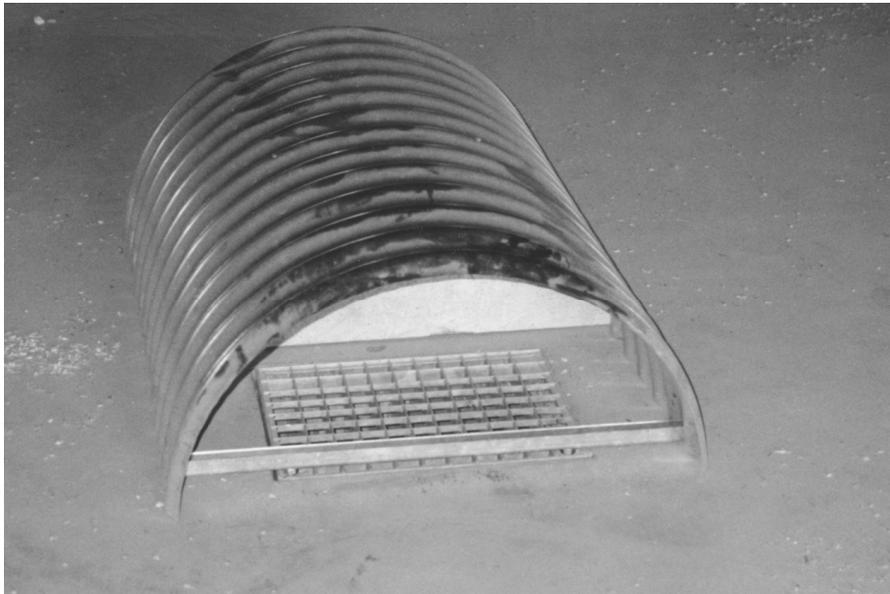
#### Unterflur - Hauptluftkanal



**Abbildung 21:** Unterflur-Hauptluftkanal mit Anschlußelement für Wellblechkanäle

Abbildung 21 zeigt die Schnittzeichnung eines Unterflur-Hauptluftkanals mit Anschlußelement für Wellblechkanäle.

Abbildung 22 zeigt das unperforierte Wellblechelement mit mittiger Trennwand und Halterahmen, der in die Anschlußroste im Fußboden eingehakt wird, damit das Anschlußelement nicht verschoben werden kann.



**Abbildung 22:** Anschlußelement für perforierte Wellblechkanäle an einen Unterflur-Hauptluftkanal

Das Numerieren der Kanalanschlußklappen im Hauptluftkanal ist eine nützliche Hilfe, damit man weiß, welche Kanäle zu welchen Zellen gehören. Außerdem sollte der Kanal von innen ausreichend beleuchtet sein. Besteht die Gefahr des Eindringens von Grundwasser, sollte man den Unterflurkanal in doppelte Baufolie bauen, abdrainieren und die Sohle des Kanals mit 1 % Gefälle versehen, damit das Wasser zu einem Ende laufen und dort abgepumpt werden kann.

Abbildung 23 zeigt einen Unterflur-Hauptluftkanal während der Bauphase mit seitlichen Unterflur-Belüftungskanälen.

Hauptluftkanäle aus fertigen Stahlelementen lassen sich nur dann preiswert einbauen, wenn das Einpassen in die Zellen und in das Gebäude keine Sonderkonstruktion und erneute statische Berechnungen erfordert. Vorteilhaft ist bei allen Stahlkanälen und Wänden die glatte Oberfläche des Materials, so dass Getreidelagerschädlinge keine Verstecke finden können. Das Abdichten der Kanäle kann aber große Mengen an dauerelastischem Dichtungsmittel verschlingen, zumal regelmäßiges Nachdichten an den Verbindungsnahten zwischen Zellenwand und Stahlkanal erforderlich ist.



**Abbildung 23:** Unterflur-Hauptluftkanal während der Bauphase  
(Werkbild Dieckmann)



**Abbildung 24:** Stahlkanal - angebaut an eine Trapezprofil-Zellenwand mit eingebauten Hallen- und Zellenwandstützen - So nicht!

Im Inneren der Hauptluftkanäle sollten möglichst keine Hallenstützen sein. Sie behindern die Belüftung erheblich (Abb. 24).

Die Verschlüsselemente im Hauptluftkanal hin zu den Belüftungskanälen können Schieber oder Klappen sein. Klappen sind zwar teurer, aber hier deutlich besser geeignet. Schieber schließen die Kanäle nie ganz dicht, klemmen häufig und sind leicht verbogen.

Die Verbindungen zwischen Gebläse und Hauptluftkanal sollten flexibel sein, damit Vibrationen vom Gebläse nicht auf den Kanal übertragen werden. Außerdem wird die Gebläse-Montage erheblich vereinfacht, da der flexible Verbindungsbalg nur mit Spanngurten an Gebläse und Kanal befestigt werden muss.

Während des Gebläse-Betriebes entstehen im Übergangsbereich vom Gebläse zum Hauptluftkanal oft erhebliche Turbulenzen im Kanal wegen der unterschiedlichen Querschnitte zwischen Gebläseausgang und Kanal. Deshalb sollte zwischen dem Anfang des Hauptluftkanals und dem 1. Seitlichen Belüftungskanal ca. 2 m Abstand sein. Hält man diesen Abstand nicht ein, kann es passieren, dass der erste Kanal wegen der Turbulenzen erheblich weniger Luft erhält und das darüber liegende Getreide kaum getrocknet wird.

### **5.4.2 Belüftungskanäle**

Belüftungskanäle bzw. Belüftungsböden sorgen dafür, dass die Trocknungsluft möglichst gleichmäßig über die gesamte Grundfläche der Lagerzelle verteilt wird. Ist das nicht der Fall, findet in der Zelle eine ungleichmäßige Trocknung statt. Je mehr Feuchtigkeit dem Trocknungsgut entzogen werden soll, desto wichtiger ist eine exakte Luftverteilung in den Zellen. Die beste Luftverteilung erreicht man deshalb mit ganzflächigen Belüftungsböden. Belüftungskanäle sind deutlich schlechter zu bewerten. Auswahl und Abstand der Kanäle sind sorgfältig zu planen.

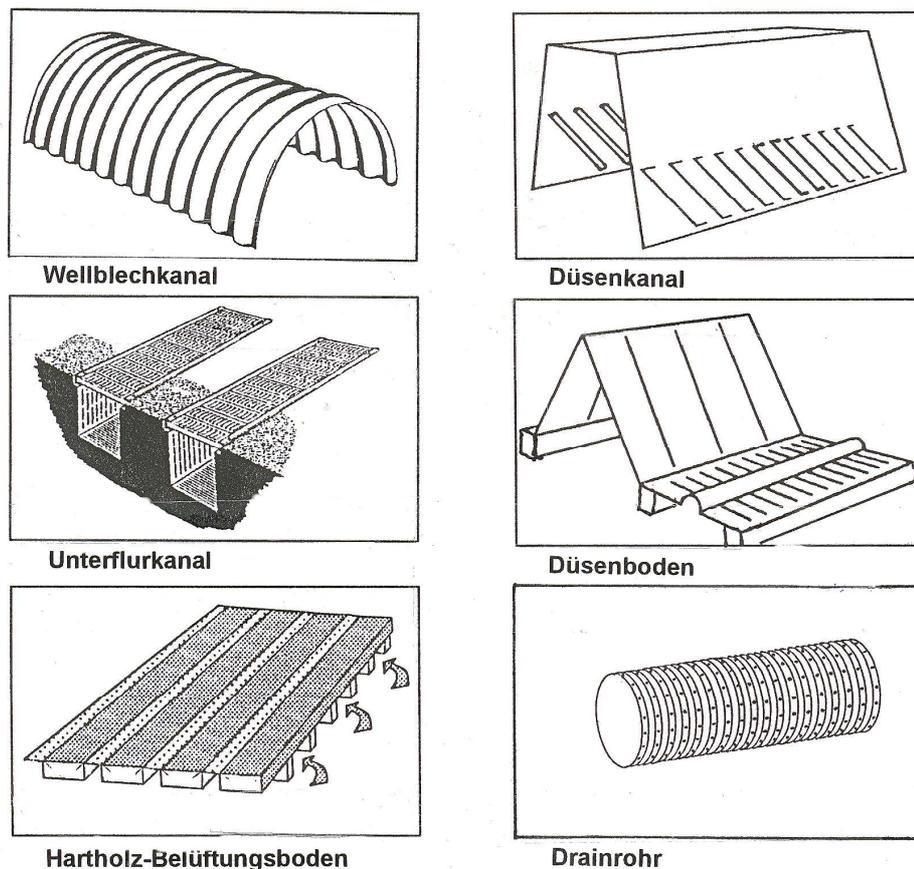
Wichtige Auswahlkriterien für die Belüftungskanäle sind:

- gleichmäßige Luftverteilung
- niedriger Strömungswiderstand
- Kosten für Kanäle - incl. Betonarbeiten
- Beschädigungsgefahr beim Entleeren der Zellen
- Arbeitsaufwand zum Reinigen und Desinfizieren der Kanäle.

### 5.4.2.1 Bauweisen

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Belüftungskanäle und -böden auf dem Markt. Hinzu kommen noch diverse Eigenbaulösungen, die zwar selten preiswerter sind, aber trotzdem gut funktionieren. Entscheidend sind die technischen Daten der Kanäle für die Planung einer Belüftungsanlage.

Die wichtigsten Bauweisen an Kanälen werden in Abbildung 25 gezeigt.



**Abbildung 25:** Bauweisen verschiedener Belüftungskanäle

#### Wellblechkanäle

Wellblechkanäle sind die preiswertesten Belüftungskanäle und darum am häufigsten eingebaut. Die Kanalelemente haben eine nutzbare Länge von 0,82 m und werden mit 1,5 mm-Lochung für Raps sowie 2,0 mm Lochung für Getreide geliefert. Auf Wunsch kann man auch Kanäle mit Schlitzlöchern erhalten. Der Standardkanal ist 24 cm hoch und 48 cm breit. Für größere Kanallängen kann man auch Elemente mit 32 cm Höhe und 64 cm Breite erhalten (siehe Tab. 14). Für Schütthöhen unter 3 m gibt es auch Kanäle mit ungelochtem Rückenteil. Damit wird eine bessere Luftverteilung im Stapel erreicht.

Bei der Zellenentleerung mit Ladern sind Wellblechkanäle stark gefährdet. Deshalb sollte eine zweite Hilfskraft die Kanäle im Stapel mit einem Besenstiel suchen und von Hand entfernen. 5 - 10 % der Kanäle werden beim Entleeren der Zellen beschädigt - die wenigsten mit einem Teleskoplader, die meisten mit einem Gabelstapler. Front- und Radlader rangieren dazwischen. Wer seine Laderschaufel nach vorn um 30 - 50 cm verlängert, um mehr Getreide über den Kanälen aufnehmen zu können, wird weniger Kanäle beschädigen, denn die meisten Kanäle werden nicht mit der Schaufel, sondern mit den Rädern der Lader zerstört. Alle Wellblechkanäle müssen bei der Zellenentleerung immer von Hand entfernt werden. Dadurch werden Verunreinigungen durch Pilze oder Käfer ausgeschlossen.

Gut bewährt hat sich folgende Anordnung der Kanäle: man legt die Zellen nicht ausschließlich mit den preiswerten Wellblechkanälen aus, sondern baut direkt vor der Zelleneinfahrt einen Unterflurkanal ein. Dieser dient als Orientierungshilfe beim Entleeren, damit die Nachbarkanäle nicht beschädigt werden (Abb. 26).



**Abbildung 26:** Eingebauter Unterflurkanal als Orientierungshilfe bei der Zellenentleerung

Auf diese Weise kann man 70-80 % des Getreides aus der Zelle entleeren, ohne dass eine zweite Arbeitskraft zum Suchen der Wellblechkanäle benötigt wird.

## Unterflurkanäle

Unterflurkanäle werden in Breiten von 25 und 30 cm angeboten, auf Wunsch werden auch andere Maße gefertigt. Die Tiefe der Kanäle richtet sich nach dem geplanten Luftdurchsatz. Die Abdeckelemente bestehen entweder aus Lochblech oder aus gestanzten Schlitzen (siehe Tabelle 14). Die Tragfähigkeit der Unterflurkanäle schwankt zwischen 5 und 10 t Radlast. Das reicht aber immer noch nicht aus, um diese Roste unproblematisch mit hartgummibereiften Gabelstaplern befahren zu können. Vor allem Lochbleche zerreißen schnell an den Kanten des darunterliegenden Tragrostes.

Gemeinsam mit der perforierten Kanalabdeckung liefern alle Hersteller auch Einbau-Kanalschalungen aus Stahl oder Beton, damit man die Kanäle einfacher in der Betonfläche einer Halle einbauen kann (siehe Abb. 23). Wer nachträglich einen Unterflurkanal in einen Betonboden einbauen will, sollte lieber eine Beton-Einbauschalung (Fa. Geerds) verwenden, da diese belastbarer ist.

Wer seine Kanalabdeckung aus Lochblech vor der Beschädigung durch die Räder des Gabelstaplers retten will, kann das Lochblech auch unter das Tragrost legen. Dann bleibt zwar im Rost ca. 3 cm Getreide liegen, die Bleche werden aber nicht beschädigt. Das geht jedoch nur, wenn die Stäbe des Rostes maximal 3 cm Abstand von einander haben.

Der Einbau der Roste im Betonboden sollte immer ca. 5 mm tiefer erfolgen als die Betonfläche geplant ist, damit man beim Entleeren der Zellen die Kanalabdeckungen nicht mit der Laderschaufel berührt. Gute Kanalschalungen haben als seitliche Auflage für die Roste ein Winkeleisen, das viel stabiler ist als abgekantetes Blech.

Der Betonaufwand für den Einbau von Unterflurkanälen ist ca. 2-3 mal so hoch wie beim Herstellen einer einfachen Betonfläche mit gleicher Tragfähigkeit. Das treibt die Kosten für eine Unterflurbelüftung deutlich nach oben. Die Gesamtkosten für einen lfd m Unterflurkanal betragen ca. 130 - 140 DM. Das ist ungefähr das 7-fache von Wellblechkanälen. Deshalb sollte man Unterflurkanäle nur dort einbauen, wo unter Termindruck Zellen entleert werden müssen.

Beim Entleeren der Zellen pressen die Reifen der Lader die Körner teilweise in die Lochbleche. Außerdem rieselt Abrieb in die Kanäle, so dass die Abdeckungen jährlich abgenommen und gereinigt werden müssen.

Die wichtigsten Bauweisen der Abdeckroste sind einfache Rundlöcher, die die Belüftungsluft senkrecht nach oben abgeben, und gestanzte Düsenbleche mit Schlitzen, die die Belüftungsluft horizontal in das Getreide einblasen. Das ergibt eine bessere Luftverteilung im Getreidestapel. Kenndaten zu den Kanaltypen zeigt Tabelle 14. Außerdem erlaubt das Stanzen von Düsen Schlitz die Verwendung von dickerem Stahlblech als dies beim Stanzen von Rundlöchern möglich ist.

Wer Unterflurkanäle mit Stahl-Einbauschalungen selbst einbaut, muss darauf achten, dass sich die Schalungen beim Einbau nicht verformen. Das Einpassen der Abdeckroste könnte dadurch erheblich erschwert werden. Als Abhilfe kann man

Distanzbretter beim Schütten der Betonfläche in die Kanäle klemmen oder die Kanalabdeckungen schon beim Betonieren einsetzen (Abb. 27). Sie sollten dann aber mit Baufolie umwickelt sein, damit sie anschließend nicht vom Beton gereinigt werden müssen.



**Abbildung 27:** Unterflurkanäle während der Einbauphase

### **Hartholzbelüftungsboden mit Streckmetall**

Hartholzbelüftungsböden mit Streckmetallstreifen zwischen den Bohlen ermöglichen eine sehr gute Luftverteilung im Getreidestapel, da ein nahezu ganzflächiger Lufteintritt in das Lagergut möglich ist. (Abb. 28).

Diese Belüftungsböden erfordern auch einen speziellen Hauptluftkanal mit passenden Anschlüssen für den Boden. Die Preise für den kompletten Belüftungsboden inklusive Hauptluftkanal liegen im gleichen Bereich wie bei Belüftungsanlagen mit Unterflurkanälen. Problematisch ist eventuell die Reinigung des Belüftungsbodens, da dieser nur über den Hauptluftkanal sowie am Ende über eine Klappe zugänglich sind. Für die Reinigung werden einige Kanäle geöffnet und mit dem Gebläse Staub und Kaff herausgeblasen. Es bleiben jedoch Ecken und Winkel, die nur schwer zu säubern sind. Dennoch ist dieses System für den nachträglichen Aufbau auf eine bereits vorhandene Betonfläche interessant. Alternativ könnte man aber auch flachere Unterflurkanäle aus Stahl im Abstand von ca. 1 m auf die Betonfläche aufschrauben und die Zwischenräume mit Beton verfüllen. Die Kanäle sind einfacher zu reinigen und die anfallenden Investitionen kaum höher.



**Abbildung 28:** Hartholzbelüftungsboden mit Streckmetall während der Montage  
(Werkbild Dieckmann)

Mäuse sind ein besonderes Problem bei den Hartholz-Belüftungsböden. Sie können sich unter dem Boden frei bewegen und finden bei unsauberer Montage schnell eine Stelle, wo das darüberliegende Getreide in den Kanalbereich gezogen werden kann. Sorgfältige Montage ist daher eine Grundvoraussetzung für dieses Belüftungssystem.

### **Drainrohre**

Drainrohre mit Durchmessern von 200 und 160 mm werden auf vielen landwirtschaftlichen Betrieben für die Körnerkühlung eingesetzt. Hierbei sind die erforderlichen Luftraten viel geringer als bei einer Lagerbelüftungstrocknung. Drainrohre sind deshalb bis auf wenige Ausnahmen für eine Lagerbelüftungstrocknung schlecht geeignet, weil sie einen zu engen Rohrquerschnitt haben und zu wenig Öffnungen je laufenden Meter aufweisen (siehe Tab. 14). Ein Vergleich mit dem perforierten Wellblechkanal mit den Abmessungen 24 x 48 x 82,5 cm zeigt, dass man ca. 50 m Drainrohr mit 200 mm Durchmesser verlegen muss, um die gleiche Lochfläche auf dem Kanal zu erhalten wie bei einem Meter Wellblechkanal! Nur in Ausnahmefällen - bei einer Schütthöhe unter 2 m und einem zu erwartenden Feuchteentzug unter 2% - kann mit Drainrohren noch wirkungsvoll belüftet werden. Nachteilig ist auch die runde Bauweise der Rohre. Sie werden beim Befüllen der Zellen leicht zur Seite verschoben und müssen deshalb sorgfältig und rechtzeitig mit Getreide, Bändern oder Latten arretiert werden.

Einige Firmen bieten auch Drainrohre mit spezieller Zusatzlochung an, so dass bis zu 4mal so viele Löcher auf der Rohroberfläche sind wie bei einem „Normalrohr“.

### **Sonderbauformen**

Neben den oben angeführten Standard-Bauformen für Belüftungskanäle oder -böden gibt es eine Vielzahl von Sonderbauformen, die für spezielle Anwendungsfälle durchaus interessant sein können:

#### **Düsenkanäle oder -böden**

Düsenkanäle oder -böden eignen sich nicht nur für die Zellenbelüftung, sondern auch für eine pneumatische Entleerung. Sie funktionieren aber nur, wenn am Getreidekorn Luftgeschwindigkeiten von ca. 20 m/s erreicht werden, damit die Körner fliegen können. Dadurch ergibt sich ein Widerspruch zwischen der energiesparenden Belüftung mit möglichst langsamen Luftgeschwindigkeiten und der pneumatischen Zellenentleerung mit möglichst hohen Luftgeschwindigkeiten.

Hauptprobleme bei Düsenkanälen und -böden sind:

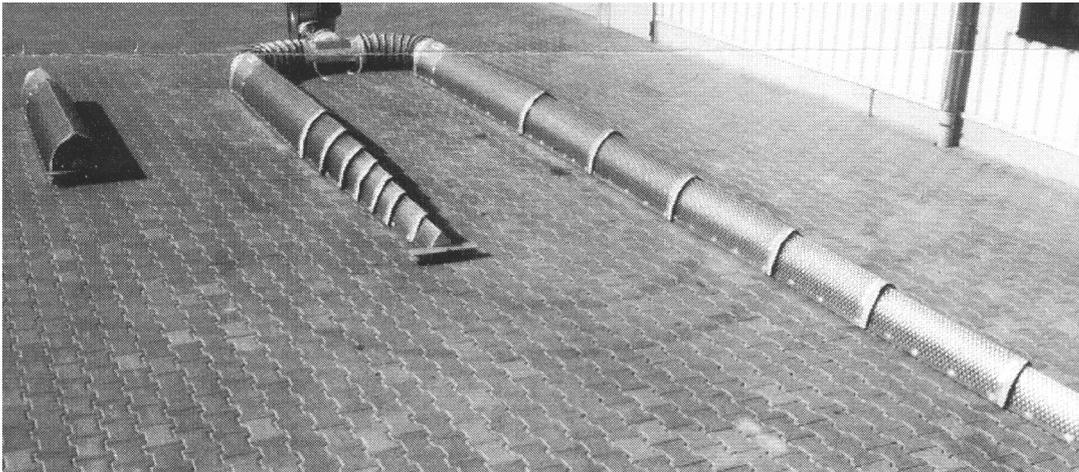
- Hoher elektrischer Anschlußwert für das Belüftungsgebläse
- Geringe Trocknungsleistung
- Unvollständige Zellenentleerung
- hoher Staubanfall
- Erhöhte Kondensationsgefahr durch hohen Kanalwiderstand
- Hoher Stromanschluß und hoher Energieverbrauch.

Heute werden derartige Belüftungssysteme nur noch dort eingesetzt, wo mehrfach im Jahr kleinere Mengen an Lagergut entnommen werden. Bedenken sollte man, dass während der pneumatischen Entleerung die Belüftungstrocknung nicht arbeiten kann, da das Gebläse für die Entleerung benötigt wird. Die beiden häufigsten Bauweisen sind in Abbildung 24 dargestellt. Der Düsenboden mit geschlossenen Dachreitern zwischen den Düsenblechen macht deutlich weniger Probleme bei der Entleerung als der Düsenkanal, weil beim Düsenkanal die Körner weit entfernt von den Düsen Schlitzen noch gefördert werden müssen. Beim Düsenboden liegen die Körner dagegen immer direkt an den Düsen Schlitzen. Dadurch ist der Energieaufwand beim Entleeren der Zellen nur ca. halb so hoch wie bei den Düsenkanälen.

#### **Teleskopkanäle**

Die Teleskopkanäle der Fa. Waltinger ( 97464 Oberwerrn, Tel. 09726-700, Fax: 09726-1729), lassen sich unter dem eingelagerten Getreide teleskopartig zusammenschieben und anschließend herausziehen. Sie stören dann bei der Zellenentleerung nicht mehr (Abb. 29). Diese Kanäle gibt es in Längen von 4-20 m.

Die Preise liegen bei 108-180 DM je lfd m. Je länger der Kanal ist, desto preiswerter wird er. Das Einziehen in einen Hauptluftkanal scheitert jedoch oft an der Standardlänge des Grundelementes von 2,5 bzw. 3,0 m. Diese Kanäle sind durchaus eine Alternative zu einem Unterflurkanal zwischen den seitlichen Wellblechkanälen (siehe Abb. 26). Der Lochanteil auf der Mantelfläche des Teleskopkanals ist mindestens doppelt so groß wie bei einem Unterflurkanal mit horizontalen Schlitzöffnungen.



**Abbildung 29:** Teleskopkanäle von Waltinger (Werkbild)



**Abbildung 30:** Befahrbarer Belüftungsboden mit Beton-Unterkonstruktion. Der Hauptluftkanal ist freigelegt.

### **Belüftungsböden aus gestanzten Blechplatten**

Diese Bauweise ist nach wie vor in den Neuen Bundesländern weit verbreitet, wird allerdings heute nicht mehr gebaut. Als Tragkonstruktion dienen meistens Betonelemente wie Abb. 30 zeigt.

Abbildung 29 zeigt, dass ca. 60% der Löcher auf den Blechplatten auf dem Beton liegen und somit für die Belüftung unwirksam sind. Der effektive Lochanteil liegt bei den meisten Anlagen nur bei 400-500 cm<sup>2</sup> je m<sup>2</sup> Hallenboden. Der Luftdurchsatz ist bei diesen Anlagen also nicht höher als bei normalen Unterflurkanälen mit Lochblechen. Größtes Problem dieser Belüftungsböden ist aber der erhebliche Arbeitsaufwand zur Reinigung des Kanalsystems, da die Belüftungsbleche meistens miteinander verschweißt sind. Hilfreich ist es, die Abdeckbleche über dem Hauptluftkanal von den Blechen über den Seitenkanälen zu trennen und die herausnehmbaren Einheiten zusammenschweißen. Zum Reinigen der Anlage werden dann nur noch die Hauptluftkanäle freigelegt und die Seitenkanäle mit Industriestaubsauger oder mit einem Körnergebläse sauber gesaugt. Als Saugrohr eignet sich am besten ein unperforiertes Drainrohr. Eine 100 %ige Reinigung dieser Belüftungsböden ist aber nur bei vollständiger Demontage und Reinigung der Gesamtanlage möglich.

Viele der eingebauten Bleche sind für die Einlagerung von Raps und andere feinkörnige Erntegüter nicht geeignet, da die Löcher zu groß sind.

#### **11. Grundsatz:**

Verwenden Sie nur Belüftungskanäle, die einfach zu pflegen sind.  
Mit zunehmendem Alter der Kanäle steigt der Arbeitsaufwand hierfür an.

### **5.4.2.2 Planungsdaten für die Belüftungskanäle**

Die wichtigsten Planungsdaten für die Belüftungskanäle bzw. den Belüftungsboden sind:

- Die Luftgeschwindigkeit am Kanalanschluss mit max. 10 m/s
- Die Abstände zwischen zwei Kanälen:
  - Wer dem Getreide nur maximal 1 % Feuchtigkeit entziehen will, braucht keine Lagerbelüftungstrocknung, sondern nur eine Körnerkühlung. Die Kanäle dürfen dann so weit auseinander gelegt werden wie die Schütthöhe des Getreides beträgt, da immer mit „kalter“ Luft belüftet wird.

- Wer maximal 2 % Feuchte entziehen will, darf zwischen zwei Kanälen einen unbelüfteten Boden von 1,5 m Breite haben.
  - Wer maximal 4 % Feuchte entziehen will, sollte zwischen zwei Kanälen max. 1 Meter unbelüfteten Boden haben. Kanäle, die die Luft auch horizontal in das Getreide blasen, dürfen auch 20 % weiter auseinander gelegt werden.
  - Wer regelmäßig 6 % Feuchte entziehen muss, sollte zwischen den Kanälen max. 0,5 m unbelüfteten Boden haben.
- Die Größe der Löcher an den Belüftungskanälen darf für Getreide maximal 2,0 mm betragen.
- Bei intensivem Rapsanbau sollte man einen Lochdurchmesser von maximal 1,5 mm wählen oder geschlitzte Bleche nehmen. Man kann auch Jutebahnen auf Kanäle mit zu weiten Löchern legen. Das Entnehmen dieser abgedeckten Kanäle beim Entleeren einer Lagerzelle mit einem mobilen Lader ist jedoch sehr problematisch.
- Die mögliche Kanallänge errechnet sich dann aus der geplanten Luftrate, der Schütthöhe des Getreides, dem Kanalabstand und dem Kanalquerschnitt (siehe Tab. 14).

**Tabelle 14:** Kenndaten von Belüftungskanälen im Vergleich  
(Lagerhöhe 4 m; Luftrate 50 m<sup>3</sup>; Kanalabstand 1,5 m)

Kanalart	Kanal- öffnungen für Belüftung  (cm <sup>2</sup> /m)	maximale Luftmenge Je mKanal  (m <sup>3</sup> /m/h)	Kanal- querschnitt  (cm <sup>2</sup> )	max. Luft- durchsatz  (m <sup>3</sup> /h)	mögliche Kanallänge  (m)
<b>Wellblechkanal</b>					
24 x 48	2.200	1.650	904	3.254	10,8
32 x 64	3.000	2.250	1.607	5.785	19,3
<b>Unterflurkanal (Lochblech)</b>					
Breite 30 cm Tiefe 40 cm	850	640	1.200	5.184	15,8
<b>Unterflurkanal (Düsenblech)</b>					
Breite 30 cm Tiefe 40 cm	330	235	1.200	5.184	15,8
<b>Drainrohre</b>					
Ø 160 mm	65	50	200	720	2,4
Ø 200 mm	45	33	314	1.130	3,8
<b>Holz mit Streckmetall</b>					
Höhe 20 cm	800	615	1.200	4.320	14,4

Die Abstände zwischen den Belüftungskanälen und den Zellenwänden sollte immer ca. 50 % des Abstandes zwischen zwei Kanälen ausmachen. Auch Belüftungsböden sollten nicht bis an die Zellenwände reichen, sondern vor den Wänden einen unbelüfteten Anteil von 50-80 cm Breite haben. Befolgt man das nicht, strömt ein hoher Anteil der Luft direkt an der Wand ungenutzt nach oben aus der Zelle (Koandereffekt).

Zellen, die an einer Seite keine Wand, sondern einen auslaufenden Schüttkegel haben, müssen unter dem oberen Drittel des Schüttkegels auch Belüftungskanäle haben. Die unteren zwei Drittel des Kegels sollten ohne Belüftungskanäle bleiben. Der Feuchtigkeitsentzug sollte hier bei Getreide auf 3 % und bei Raps auf 2 % begrenzt sein. Wer regelmäßig feuchteres Erntegut einlagert, sollte alle Seiten der Zellen verschließen und für eine ebene Oberfläche sorgen.

## 5.5 Schnellbelüftungszellen

In Schnellbelüftungszellen wird vom Verfahren her keine Belüftungstrocknung vorgenommen, sondern eine Satzrocknung. Das heißt, die Trocknungsregelung erfolgt nicht nach der rel. Luftfeuchte, sondern nach einer konstanten Lufttemperatur wie bei einer Satzrocknung. Die technische Einrichtung in den Zellen ist aber häufig identisch mit den Belüftungszellen, so dass man auch Belüftungstrocknung in den Zellen vornehmen kann.

Diese Schnellbelüftungszellen dienen dazu, Getreidepartien mit höheren Feuchtegehalten bis auf ca. 18 % vorzutrocknen. Anschließend wird das Getreide ohne Rückkühlung in eine Belüftungszelle umgelagert, in der die Endtrocknung nach dem Belüftungsverfahren durchgeführt wird. Für einen reibungslosen Betrieb benötigt man mindestens zwei Zellen, die die Druschmenge eines Tages aufnehmen müssen. Die Trocknungsdauer in diesen Zellen ist auf ca. 12 Stunden zu berechnen. In dieser Zeit wird der maximal 2 m hohe Getreidestapel mit einer Luftrate von 300-400 m<sup>3</sup> Luft beblasen, die eine Lufttemperatur von ca. 35°C haben sollte. Jeweils eine Zelle wird getrocknet, während die andere entleert oder wiederbefüllt wird.

Wer regelmäßig feuchteres Getreide erntet, sollte für die Schnellbelüftungszellen ein separates Gebläse und einen eigenen größeren Warmlufterzeuger haben. Der gleichzeitige Betrieb von Belüftungstrocknung und Schnellrocknung mit dem gleichen Aggregat ist nicht möglich, weil unterschiedliche Lufttemperaturen in den beiden Systemen gefahren werden.

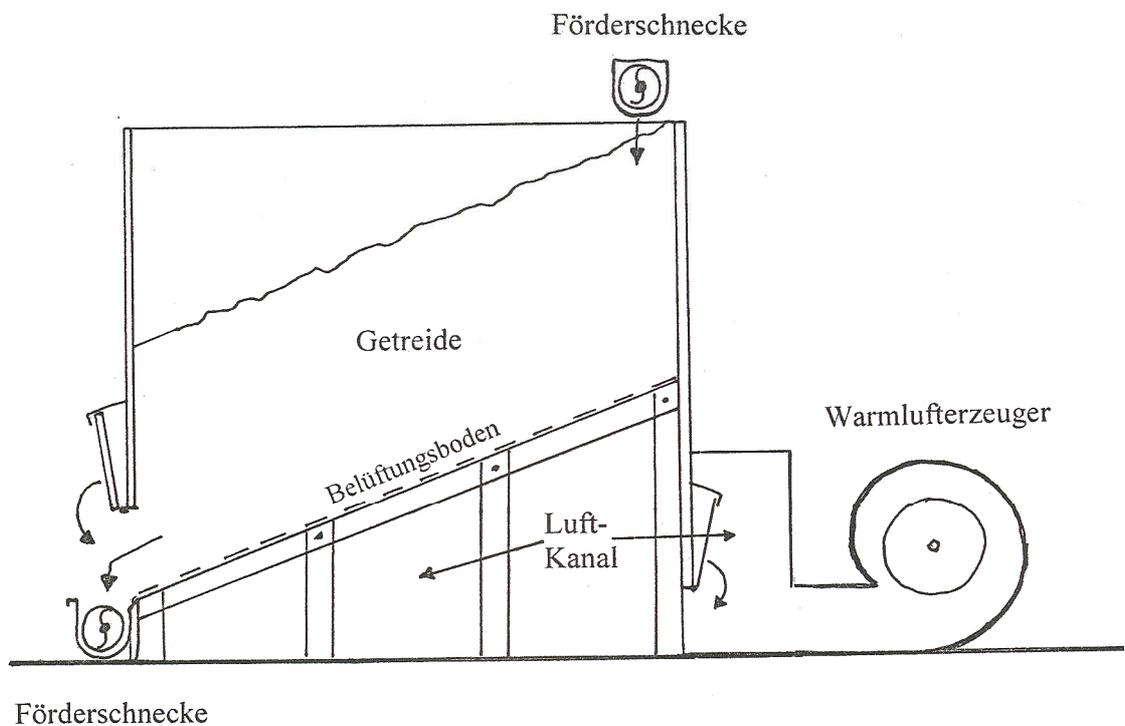
**Beispiel:**

Ein Betrieb hat 500 t Weizen ( $666 \text{ m}^3$ ) zu dreschen. Die tägliche Druschmenge beträgt 50 t ( $66 \text{ m}^3$ ). Die Durchschnittsfeuchte liegt bei 18 %, mit Spitzenfeuchtegehalten bis zu 20 %. Für diesen Betrieb würde man folgende Technik einplanen:

	Gebälseantrieb (kW)	Brennerleistung (kW)
Belüftungstrocknung mit Umluft	18	45
Trocknung in Schnellbelüftungszelle	12	200

Die Daten zeigen, dass durch die Einrichtung einer zusätzlichen Schnellbelüftungszelle schnell die Grenzen des elektrischen Anschlußwertes eines Betriebes erreicht sind und außerdem ein separater Warmlufterzeuger mit erheblicher Brennerleistung benötigt wird.

Schnellbelüftungszellen als Zusatz zu einer Lagerbelüftungstrocknung müssen manchmal täglich befüllt und entleert werden. Das erfordert bei mobiler Fördertechnik auf jeden Fall eine Unterflurbelüftung oder Schrägbodenzellen, die selbständig auslaufen können. Dafür sollte der Schrägboden einen Neigungswinkel von ca.  $25^\circ$  haben.



**Abbildung 31:** Skizze für eine Schrägbodenzelle zur Schnellbelüftung von Getreide

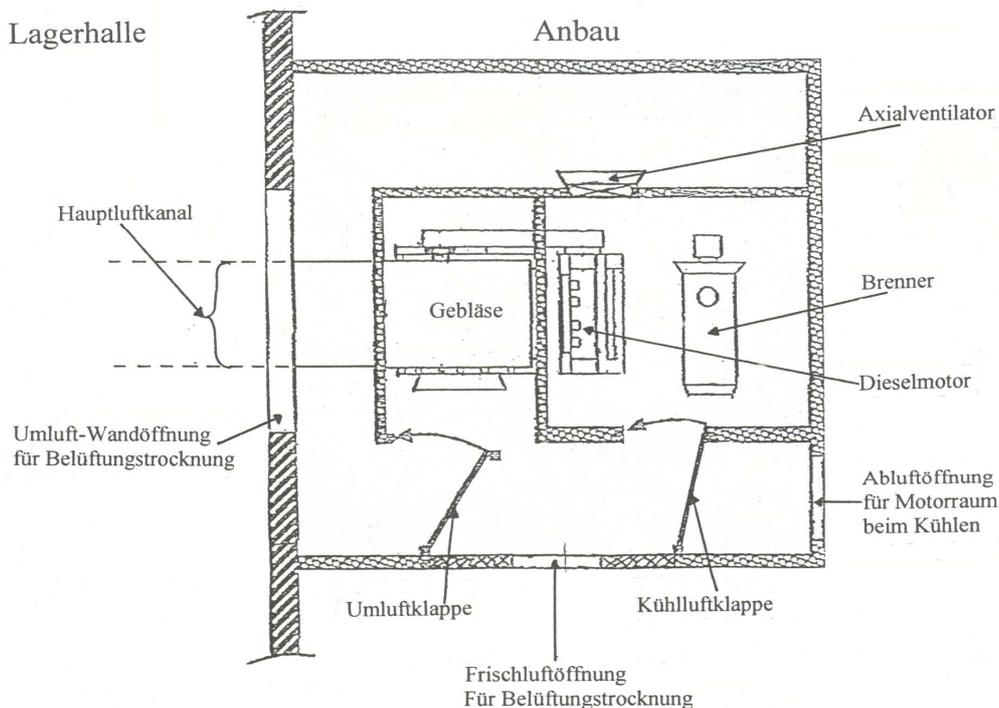
Derartige Schnellbelüftungszellen können dem Getreide 2,0-2,5 % Feuchte innerhalb eines Tages entziehen, sofern der Warmluftherzeuger 24 Stunden kontinuierlich laufen kann.

Durch den Einbau einer Schnellbelüftungszelle mit der dazugehörenden Förder- und Brennertechnik erhöhen sich die Investitionskosten für die gesamte Belüftungstrocknung um 50 - 80%. Wer also regelmäßig Partien mit höheren Feuchtegehalten erntet, sollte lieber einen Durchlaufrockner einplanen.

## 5.6 Anbau für Umluftbetrieb

Für den anzustrebenden Umluftbetrieb kann man das Belüftungsgebläse zusammen mit dem Warmluftherzeuger einfach in die Getreidehalle stellen und die Tore weitgehend schließen. Der Belüftungsprozeß muss regelmäßig kontrolliert und die relative Luftfeuchte durch Öffnen oder Schließen der Tore auf den optimalen Wert von 70 - 75% im Gebäude gebracht werden. Die meisten Hallen, die von uns für den Umluftbetrieb nachgerüstet wurden, waren allerdings nicht dicht genug gebaut, um einen optimalen Umluftbetrieb durchführen zu können.

Größere Anlagen und Neubauten erhalten meistens einen zusätzlichen Anbau an die Halle, in dem Gebläse und Warmluftherzeuger untergebracht sind. Abb. 32 zeigt den Anbau für ein dieselgetriebenes Belüftungsgebläse mit integrierter Schall- und Wärmedämmung an den Wänden des Anbaus.

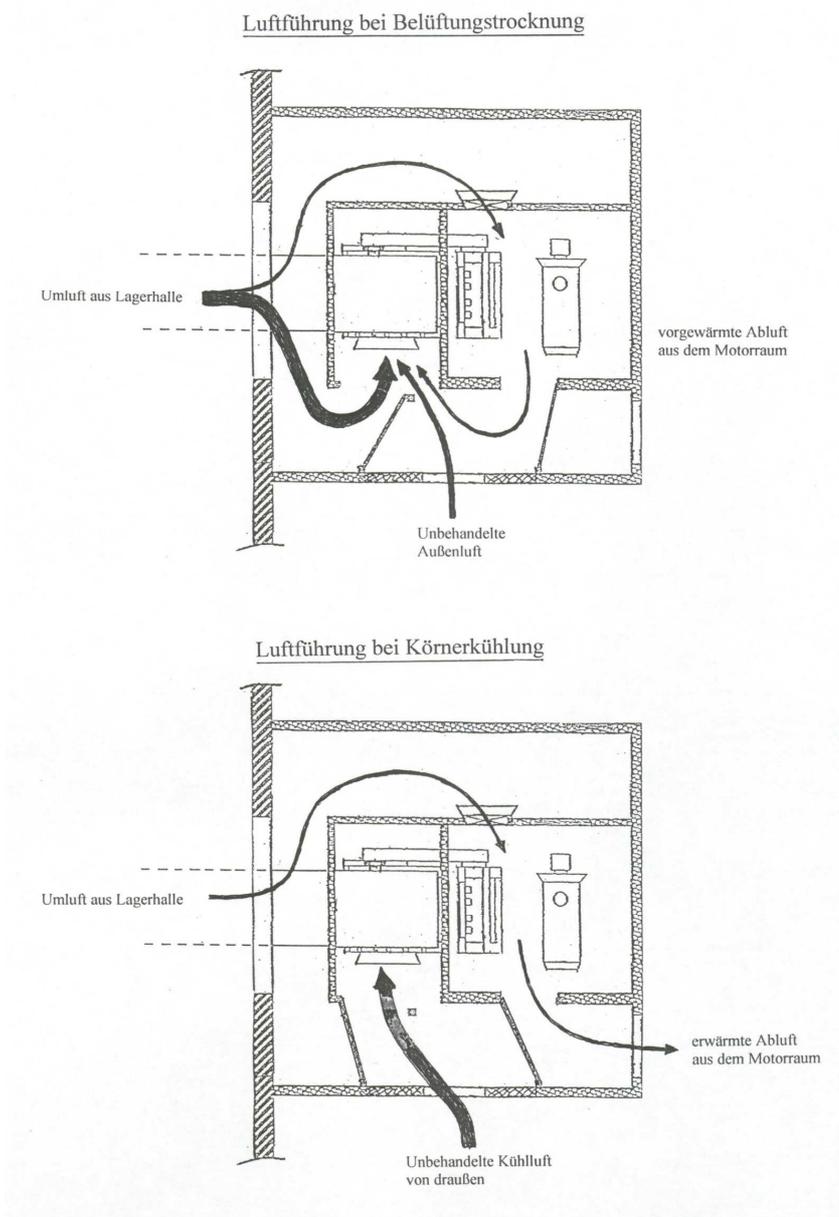


**Abbildung 32:** Anbau für Umluftbetrieb der Belüftungstrocknung

Der Anbau sollte so groß bemessen sein, dass die Luftgeschwindigkeit an allen Stellen nie größer als 10 m/s ist. Als Schalldämmung reicht in fast allen Fällen eine 4 cm dicke Heraklithplatte bzw. eine 8 cm dicke Steinwollmatte aus

Abbildung 33 zeigt die Luftführung für die Belüftungstrocknung und die Körnerkühlung.

Selbstverständlich lassen sich solche Anbauten für den Umluftbetrieb auch in die Halle selbst integrieren. Achten Sie darauf, dass die Frischluftöffnung in der Anbau-Außenwand nicht direkt vor dem Gebläse ist, damit der Gebläselärm nicht ungehindert nach draußen gelangen kann.

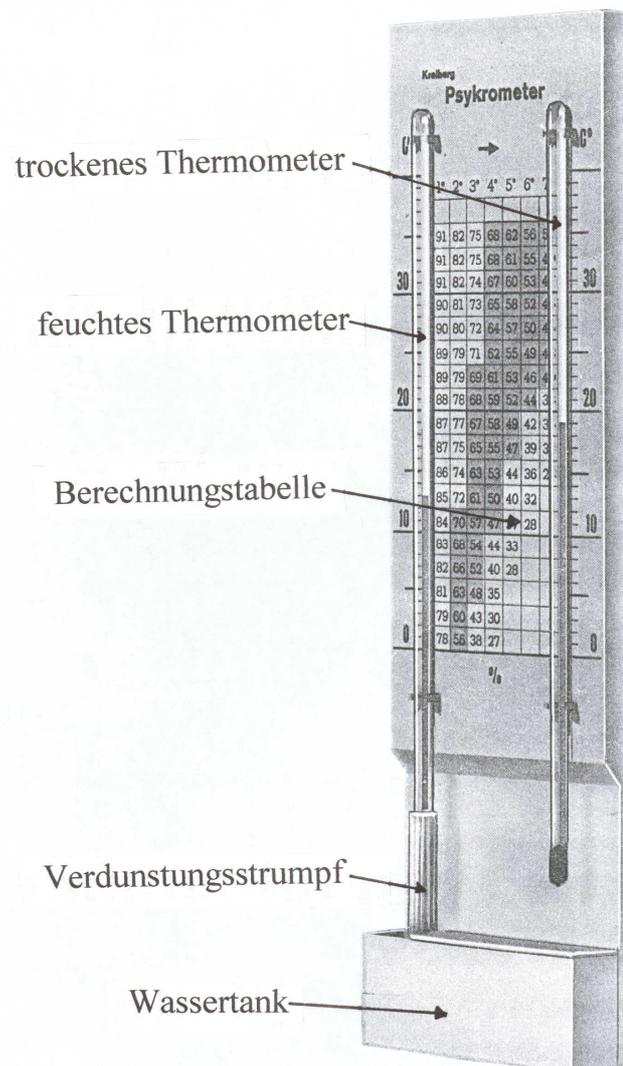


**Abbildung 33:** Luftführung für die Belüftungstrocknung und für Körnerkühlung im Anbau für eine Umluftanlage

## 5.7 Meß- und Kontrollgeräte

Für die Kontrolle von Lagerbelüftungstrocknungen benötigt man in erster Linie ein exakt arbeitendes Gerät zur Bestimmung der relativen Luftfeuchte. Die Genauigkeit sollte unterhalb von  $\pm 3\%$  liegen.

Die einfachsten Meßgeräte sind mechanische Psychrometer, die mit zwei möglichst exakten Thermometern ausgerüstet sind. (s. Abb.34)



**Abbildung 34:** Psychrometer zur Bestimmung der rel. Luftfeuchte

Das Psychrometer zeigt mit dem trockenen Thermometer die aktuelle Lufttemperatur und mit dem feuchten Thermometer die niedrigere Taupunkt-Temperatur bei 100 % relativer Luftfeuchte an. Die 100 % Luftfeuchtigkeit werden dabei mit Wassertank und Verdunstungsstrumpf erzeugt. Aus der Differenz dieser beiden Temperaturen kann man die relative Luftfeuchte errechnen oder aus Tabelle 15 ablesen.

*Beispiel aus der Tabelle: Das trockene Thermometer zeigt 19°C und das feuchte 13°C. Ausgehend vom feuchten Thermometer und der festgestellten Temperaturdifferenz zwischen den beiden Thermometern zeigt die Tabelle einen Wert von 35 % relativer Luftfeuchte.*

Derartige Psychrometer kosten 40-60 DM und sind bei allen Firmen erhältlich, die Stallklimaanlagen planen und bauen. Eine regelmäßige Eichung dieser Geräte muss nicht durchgeführt werden.

Möglich ist auch ein Eigenbau solcher Geräte mit Hilfe eines Digitalthermometers für Innen- und Außentemperaturen in Wohnräumen. Derartige Meßgeräte erhält man in nahezu allen Kaufhäusern für ca. 20 DM. Für die Psychrometerverwendung muss man den Fühler für die Außentemperaturmessung nur mit einem Verdunstungsstrumpf überziehen und anfeuchten. Auf der Anzeige erscheinen dann beide Temperaturwerte nebeneinander, wobei der niedrigere Wert immer die Taupunkttemperatur ist. Die relative Luftfeuchte kann man dann aus Tabelle 15 ablesen.

Seit einigen Jahren gibt es auch elektronische Meßgeräte für die exakte Ermittlung der relativen Luftfeuchte - mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  %. Diese Geräte kosten ca. 700 DM (Abb. 35).

Alle elektronischen Geräte müssen regelmäßig kontrolliert und nachkalibriert werden. Dafür liefert Driessen und Kern eine spezielle gesättigte Salzmischung mit einer relativen Luftfeuchte über dem Salz von 75,5 % an. Diesen Kalibrationstester für ca. 100 DM sollte man unbedingt mitbestellen, wenn man das Handgerät kauft. Mit diesem Kalibrationstester lassen sich auch die Fühler der Regelanlagen für automatische Belüftungstrocknungen kontrollieren.

Den Betriebsdruck des Belüftungsgebläses prüft man am einfachsten mit einem U - Rohr-Manometer (siehe Kap. 5.2.3 und Abb. 15). Während der Trocknung steigt der Strömungswiderstand im Kanalsystem um 5 - 10% an. Je höher der Feuchteentzug ist, desto stärker steigt auch der Strömungswiderstand im Kanal.

Exakte Meßwerte zum Luftdurchsatz erhält man mit dem Flow-Meter von der Fa. Løkke -Vertrieb über Dameco - (Abb. 36, siehe auch Kap. 10). Dieses Meßgerät wird einfach auf die Stapeloberfläche gesetzt. Mit zunehmender Luftgeschwindigkeit im Stapel wird die Stauscheibe im Plastikrohr weiter nach oben gedrückt. Belüftungsraten unter 30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/h werden jedoch nicht ausreichend genau angezeigt.

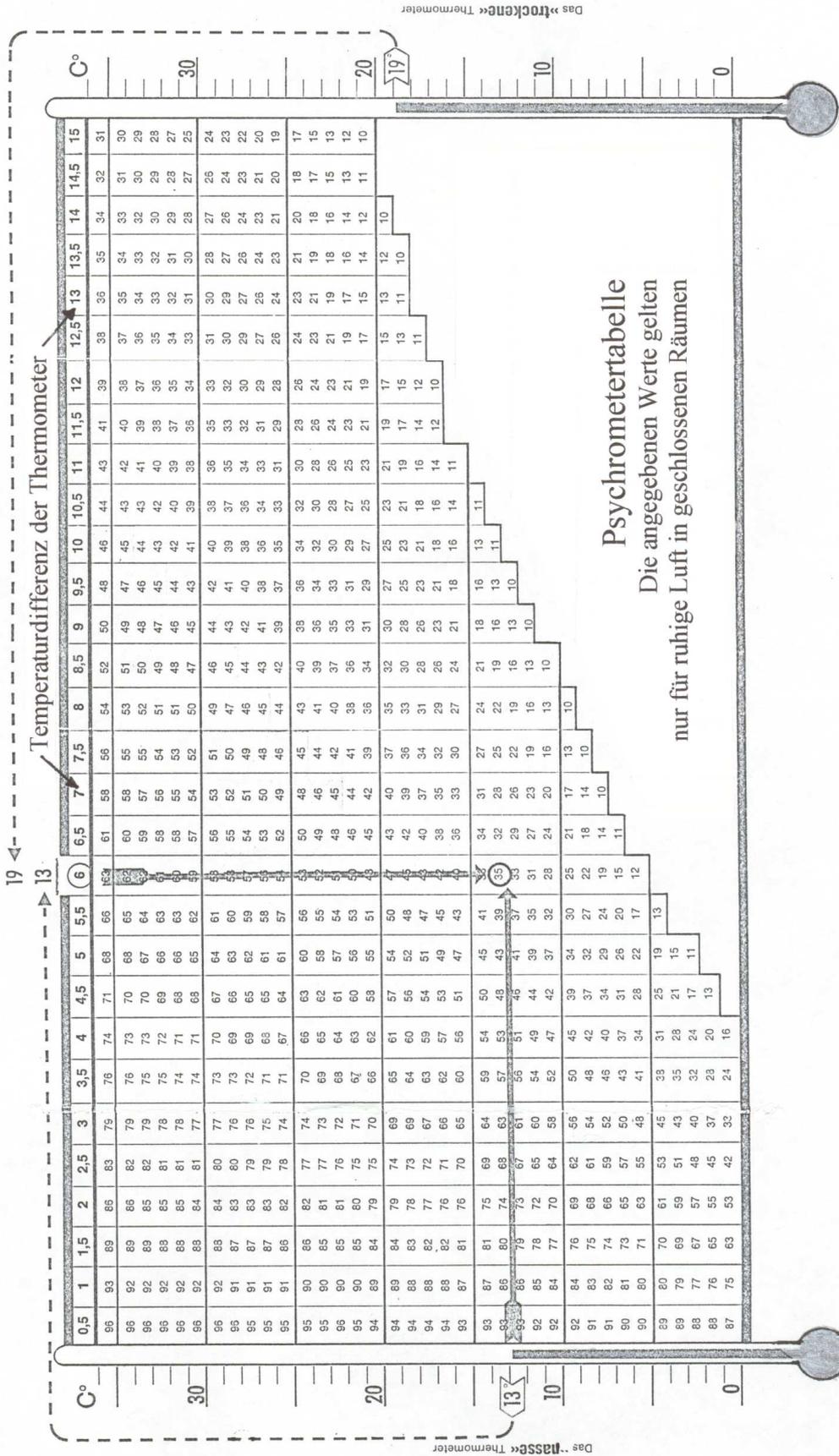
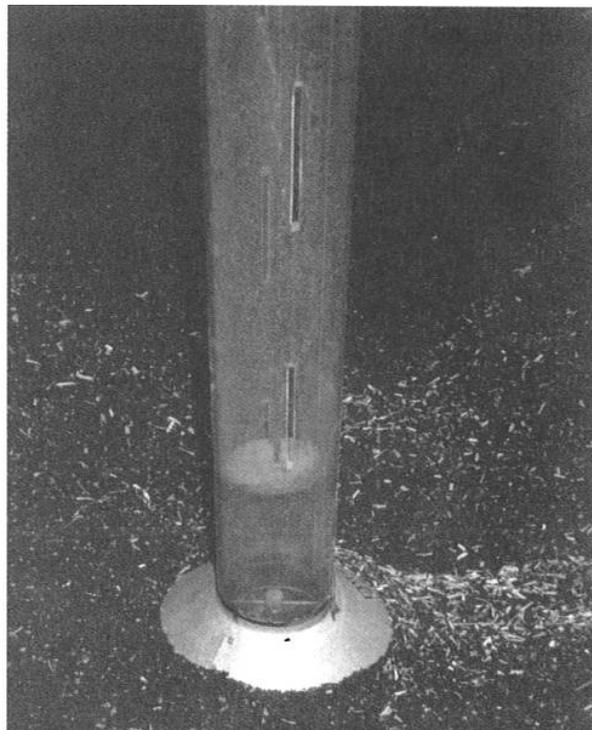
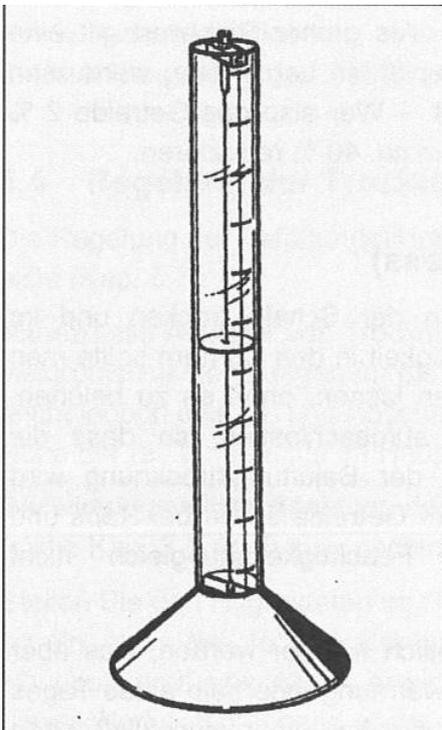


Tabelle 15: Psychrometertabelle für ruhende Luft



**Abbildung 35:** Vaisala-Handmeßgerät (HM 34) für relative Luftfeuchte und Temperatur. Vertrieb: Driessen und Kern GmbH, 24572 Bad Bramstedt, Tel. 04192-9814, Fax: 04192-7321



**Abbildung 36:** Flow-Meter. Prinzipskizze und Einsatzfoto (Werkbild Løkke)

Mit dem Auflegen einer ausgebreiteten Zeitung oder Folie auf der Stapeloberfläche ist meßbar, ob überhaupt Luft durchgesetzt wird. Sie schweben schon bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,01 m/s. Das entspricht in den meisten Fällen einer Luftrate von weniger als 10 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/h.

## 6 Bedienungshinweise

Unsere Erfahrungen aus den letzten 25 Jahren haben gezeigt, dass kaum ein Hersteller oder Lieferant von Lagerbelüftungstrocknungen für Getreide und andere Körnerfrüchte den Landwirten eine brauchbare Bedienungsanleitung mitliefert. Wir wollen deshalb hier die wichtigsten Bedienungshinweise zusammenfassen:

### 6.1 Getreideeinlagerung

- ⇒ Das Erntegut ist vor der Einlagerung möglichst vorzureinigen, da Kaff, Staub und Bruchkorn den Luftdurchsatz durch das Getreide deutlich verschlechtern.
- ⇒ Die Befüllung der Zellen sollte in horizontalen Schichten erfolgen. Dadurch werden Verdichtungsnester in den Zellen weitgehend vermieden.
- ⇒ Wird das Getreide feuchter geerntet als für die Belüftungsanlage geplant wurde, muss die Schütthöhe des Stapels verringert werden, damit die Trocknung nicht zu lange dauert. Die exakten Werte zeigt Tab. 15. Als grober Richtwert gilt eine Reduzierung der Schütthöhe um je 20 % der geplanten Lagerhöhe, wenn man den geplanten Feuchteentzug um 1 % übersteigt. – Wer also das Getreide 2 % feuchter erntet als geplant, muss die Schütthöhe um ca. 40 % reduzieren.

### 6.2 Feuchtigkeitsausgleich (Schwitzprozess)

Erntefrische Getreidekörner sind normalerweise an der Schale trocken und im Inneren deutlich feuchter. Zum Ausgleich der Feuchtigkeit in den Körnern sollte man das Getreide 12-24 Stunden in der Lagerzelle liegen lassen, ohne es zu belüften. Dadurch wird die Kornschale angefeuchtet und aufgeschlossen, so dass die Feuchtigkeitsabgabe leichter erfolgt. Die Leistung der Belüftungstrocknung wird dadurch deutlich gesteigert. Oberhalb von 21 % beim Getreide sowie bei Raps und anderen kleinkörnigen Erntegütern ist dieser Feuchtigkeitsausgleich nicht erforderlich.

Das Getreide kann bei diesem Schwitzprozess deutlich wärmer werden, was aber der Kornqualität nicht schadet, denn die schnelle Erwärmung innerhalb eines Tages kommt immer aus den zwiewüchsigen Körnern, die bei einer anschließenden Aufbereitung aussortiert werden.

Warten Sie nie länger als 24 Stunden auf eine Erwärmung der Körner. Die spätere Erwärmung ist eine Folge von Pilzwachstum oder auch Keimstimmung. Beides führt zu Qualitätsverlusten.

### **6.3 Belüftungsintensität**

Achten Sie beim Belüften darauf, dass der Druck im Hauptluftkanal nicht zu hoch ist, aber auch nicht zu weit abfällt. Optimal ist der Bereich von 100 - 150 mm WS oder 1000 - 1500 Pa.

Bei Werten im Hauptluftkanal über 200 mm WS oder 2000 Pa beginnt akute Kondensationsgefahr an der Stapeloberfläche. Reduzieren Sie an einem Dieselgebläse die Drehzahl oder die ansaugbare Luftmenge bei einem Elektrogebläse. Eventuell kann man auch eine weitere Zelle mitbelüften, um den Luftdruck im Hauptluftkanal niedrig zu halten. Die Kontrolle erfolgt über das U-Rohr-Manometer (Abb. 15).

Bei Werten unter 500 Pa (ca. 50 mm WS) sucht sich die Luft den Weg des geringsten Widerstandes im Kanal und durch den Getreidestapel. Reduzieren Sie dann die gleichzeitig belüftete Fläche, damit ein höherer Widerstand aufgebaut wird. Bei derart niedrigen Luftdrücken im Kanalsystem kann es passieren, dass einige Zonen keine Trocknungsluft erhalten. Bei Diesel- und Elektrogebläsen mit Keilriemenantrieb besteht unter Umständen auch die Möglichkeit, durch eine Drehzahlsteigerung des Gebläses die Luftmenge zu erhöhen.

### **6.4 Regelung der Trocknungsluft**

Die Regelung der Belüftungstrocknung ohne elektronische Meßgeräte funktioniert nicht (Kap. 5.7).

Nahezu alle Anbieter von Trocknungsanlagen (Kap. 10, Tab. 20) bieten auch elektronische Regelungen für die relative Luftfeuchte an. Für die meisten Anlagen reicht jedoch das Zu- und Abschalten des Warmluftherzeugers im Handbetrieb, um die Höhe der rel. Luftfeuchte im Hauptkanal zu regeln.

Die wirkungsvollste Regelung der Trocknungsluft erreicht man mit dem Umluftbetrieb (siehe Kap. 3.). Auch eine nachträgliche Umrüstung ist immer ratsam.

Stellen Sie den Hygrostaten im Hauptluftkanal zum Zu- und Abschalten des Brenners so ein, dass bei 15°C Außenlufttemperatur eine maximale relative Luftfeuchte im Hauptluftkanal von 65 % erreicht wird. Bei niedrigeren Außentemperaturen muss dieser Wert entsprechend abgesenkt werden (siehe Tab. 7).

Wer Getreide-Feuchtegehalte über 22 % einlagert, sollte an den ersten beiden Belüftungstagen im Hauptluftkanal eine relative Luftfeuchte von 75 % einstellen, danach aber auf maximal 65 % reduzieren.

## **6.5 Kondensatbildung an der Stapeloberfläche**

Unbeabsichtigte Kondensatschichten an der Stapeloberfläche müssen täglich mit einem Werkzeug aufgelockert werden, damit der Luftdurchsatz nicht reduziert wird. Man erkennt die Kondensatbildung am Druckanstieg im U-Rohr-Manometer während der Belüftung (siehe auch Kap. 4.2.6).

## **6.6 Ende der Belüftungstrocknung**

Das Ende der Belüftungstrocknung ist erreicht, wenn der Kornfeuchtegehalt an der Stapeloberfläche ca. 0,5 % höher liegt als die gewünschte Feuchtigkeit für den gesamten Stapel. Erst nach der abgeschlossenen Trocknung darf man mit der Kühlung beginnen.

## **6.7 Unterbrechung der Belüftungstrocknung**

Während der Belüftung kann man das Trocknungsverfahren durchaus unterbrechen. Wichtig ist nur, dass beim Wiederanfahren der Anlage die Temperatur der Trocknungsluft möglichst genau so hoch ist wie vor der Unterbrechung der Trocknung. Niedrigere Temperaturen beim Neustart sind dabei unproblematischer als höhere. Sorgen Sie dafür, dass bei höheren Temperaturen die Anlage abends gestartet wird. Die Unterbrechung der Belüftungstrocknung darf nur solange dauern, wie kein Temperaturanstieg in der Zelle festzustellen ist. Maximal jedoch eine Woche, da auch ein Qualitätsverlust ohne zusätzliche Getreideerwärmung entstehen kann.

## **6.8 Kühlung des Getreides**

Die Kühlung des Getreides darf erst nach abgeschlossener Belüftungstrocknung beginnen. Dafür wird die vorhandene Belüftungstechnik unverändert genutzt. Die höhere Luftrate der Belüftungstrocknung erlaubt eine Nutzung der besten und kältesten Nachtstunden. Diese liegen zwischen 24 Uhr und 6 Uhr morgens. Die Kühlung des Getreides im Sommer erfolgt bis zu einer Lagertemperatur von 15°C. Bei dieser Temperatur haben alle Schädlinge die Eiablage aufgegeben. Ein zweiter Kühlgang sollte dann Ende Oktober ebenfalls bei kalten und trockenen Nächten erfolgen, damit man eine Lagertemperatur unter 6-8°C erreichen kann. Oberhalb von 8°C zeigen vor allem Milben noch erhebliche Lebensaktivitäten. Auch Temperaturen unter 0°C sind für trockenes Getreide unschädlich. Ein Qualitätsverlust findet nicht statt.

### 12. Grundsatz:

Kühlen Sie nie das Getreide in einer Lagerbelüftungstrocknung, sofern es später noch getrocknet werden soll. Kaltem Getreide kann man mit diesem Verfahren kaum Feuchtigkeit entziehen.

## 7. Einsatzgrenzen der Lagerbelüftungstrocknung

Nachstehend zeigt eine Zusammenstellung die wichtigsten Problembereiche für Lagerbelüftungstrocknungen:

- ⇒ Regionen mit viel Niederschlägen in der Ernte (> 600 mm/a)
- ⇒ Hohe Lufttemperaturschwankungen in der Erntezeit (> 20°C)
- ⇒ Tiefe Außentemperaturen (< 10°C)
- ⇒ Biobetriebe (Pilzbesatzrisiko)
- ⇒ Hohe Anzahl der Schläge (über 10)
- ⇒ Niedrige Mähdruschkapazität
- ⇒ Viele Fruchtarten (mehr als 6)
- ⇒ Unreifes Getreide (Lagergetreide, Zwiewuchs)
- ⇒ Früchte ohne Keimruhe (Roggen)
- ⇒ Saatgutproduktion (Verkauf direkt nach der Ernte)
- ⇒ Feinsämereien (hoher Druckverlust im Stapel)
- ⇒ Hohe Erntefeuchtegehalte bei Getreide (> 18 %)
- ⇒ Verzicht auf Vorreinigung (Verdichtungszone im Lager)
- ⇒ Zellenbefüllung über mehr als 3 Tage
- ⇒ Ungleichmäßige Zellenbefüllung (Kegelbildung).

Diese Zusammenstellung ließe sich sicher noch weiterführen. Nicht alle Punkte sind gleichbedeutend. Schwierigkeiten entstehen vor allem auf Biobetrieben, bei unreifem Getreide, bei Saatgutproduktion und bei zu hohen Erntefeuchtegehalten. Dennoch sollte man die Problembereiche nicht überbewerten. Durch eine Erhöhung der Luftrate sind die auftretenden Probleme deutlich reduzierbar.

## 8. Arbeitsaufwand bei Belüftungsanlagen

Der Arbeitsaufwand bei einer Lagerbelüftungstrocknung zieht sich über einen längeren Zeitraum hin als bei gleich leistungsfähigen Durchlauftrocknungen.

Der gesamte Arbeitsaufwand für die Lagerbelüftungstrocknung setzt sich aus folgenden Einzelarbeiten zusammen (Tab. 16).

**Tabelle 16:** Arbeitsaufwand bei einer Lagerbelüftungstrocknung ( ca. 50 t/h Förderkapazität)

Arbeit	Terminbindung <sup>1)</sup>	AK	Akh/100 t Lagermenge
Zellenbefüllung mit Lader	x	1	2,0 - 2,5
Zellenbefüllung mit stationärer Technik ohne Verteilanlage	x	1 - 3	3,5 - 4,5
Zellenbefüllung mit stationärer Technik mit Verteilanlage	x	1	1,0 - 1,2
Beseitigen einer Kondensatschicht	o	1	2,5 - 5,0
Kontrollieren der Lagertemperaturen	-	1	0,5 - 1,0
Entleeren der Zellen mit Lader	o	1	1,5 - 2,0
Entnehmen von Wellblechkanälen	o	1	0,5 - 1,0
Reinigen von Wellblechkanälen	-	1	0,5 - 0,8
Reinigen von Unterflurkanälen	-	1	1,0 - 1,5
Reinigen von Zellenwänden	-	1 - 2	0,0 - 5,0
Reinigen der Förderwege	-	1 - 2	0,0 - 6,0
Desinfektion der Gesamtanlage	-	1 - 2	1,0 - 3,0

<sup>1)</sup> x = hohe Terminbindung; o = bedingte Terminbindung; - = keine Terminbindung

## Beispiele

1. Befüllung der Zellen mit Lader und Schleuder, Zellenwände in Stahlblech, Wellblechkanäle, Entleerung mit Lader:  
Gesamtarbeitsaufwand = 6-8 Akh/100 t
2. Befüllen der Zellen mit stationärer Verteiltechnik, Zellenwände in Stahlblech, Wellblechkanäle mit einem Unterflurkanal, Entleerung mit Lader.  
Gesamtarbeitsaufwand = 7-9 Akh/100 t
3. Befüllen der Zellen mit stationärer Verteiltechnik, Zellenwände in Stahlblech, Unterflurkanäle, Entleerung mit Lader.  
Gesamtarbeitsaufwand = 9-11 Akh/100 t
4. Befüllen der Zellen mit stationärer Technik ohne Verteilanlage, Zellenwände in Holzbohlen, Wellblechkanäle, Entleerung mit Lader:  
Gesamtarbeitsaufwand = 15-20 Akh/100 t.

### 13. Grundsatz

Unterschätzen Sie nicht den Arbeitsaufwand während der Erntekampagne. Lagerbelüftungstrocknung hat den großen Vorteil, dass man nachts nicht in der Trocknung sein muss. Das Einebnen der Oberfläche ist aber handarbeitsaufwendig.

Der Arbeitsaufwand bei Lagerbelüftungstrocknungen lässt sich reduzieren durch:

- ⇒ Einlagerung mit stationärer Verteilanlage oder Teleskoplader
- ⇒ Keine Kondensatbildung an der Oberfläche
- ⇒ Fernthermometer zur Kontrolle der Lagertemperaturen
- ⇒ Wellblechkanäle mit nur einem Unterflurkanal in den Zellen
- ⇒ Zellenwände aus Stahlblech
- ⇒ Senkrechtförderung mit Becherelevatoren
- ⇒ Horizontalförderung mit Bändern oder Redlern

Insgesamt gesehen ist der Arbeitsaufwand bei Lagerbelüftungstrocknungen nicht höher als bei Durchlauf-trocknungsanlagen.

## 9. Kosten der Lagerbelüftungstrocknung

Die Investitionen für Lagerbelüftungsanlagen sind nicht der Hauptgrund, warum Landwirte sich für dieses Verfahren entscheiden. Die Unterschiede in der Kostenkalkulation zum Durchlaufrocknerverfahren sind denkbar gering. Größere Anlagen (über 5 - 6000 m<sup>3</sup> Lagerraum) rechnen sich als Durchlaufrocknung sogar besser.

**Tabelle 17:** Investitionen für Trocknungs- und Lagerungsanlagen (DM/m<sup>3</sup>)  
(Trocknung bis 19 % ohne Qualitätsverlust)

Durchlaufrockner	Lagerkapazität			
	500-1.000	3.000-4.000	5.000-8.000	12.000-16.000
Neuanlage, Eigenmontage, kein vorhanden	320 -	260 -	200 -	160 -
Neuanlage, Eigenmontage, vorhandenes	280 -	240 -	180 -	140 -
Gebrauchte Eigenmontage, Gebäude,	140 -	130 -	120 -	-
Gebrauchte Eigenmontage, Gebäude,	120 -	110 -	100 -	-
<b>Belüftungstrocknung</b>				
Neuanlage, Eigenmontage, kein vorhanden,	300 -	250 -	200 -	190 -
Neuanlage, vorhandenes Radladerentleerung	190 -	160 -	130 -	120 -
Gebrauchte Eigenmontage, Gebäude,	40 -	40 -	-	-

Die Hauptgründe für den Bau von Lagerbelüftungstrocknungen sind nach wie vor:

- ⇒ vielseitige Nutzungsmöglichkeit des Gebäudes
- ⇒ hohe Schlagkraft bei der Getreideannahme
- ⇒ geringer Arbeitsaufwand während der Ernte in den Nachtstunden

Die Angaben aus Tabelle 17 sind langjährige Daten aus der Praxis vieler RKL-Landwirte. Erfasst sind alle Investitionen, die zu einer kompletten Anlage gehören.

Abbildung 36 zeigt, dass neben dem technischen Teil, den verschiedene Firmen anbieten, immer noch ein erheblicher Anteil an Zusatzinvestitionen anfällt. Diese können von Betrieb zu Betrieb erheblich schwanken. Die wichtigsten Punkte, die man unbedingt vor Abschluß eines Kaufvertrages klären sollte, sind: Betonarbeiten, Stromversorgung und Zuwegung.

Bei Anlagen, die komplett neu erstellt werden, machen diese Zusatzinvestitionen 20-35 % der Gesamtinvestitionen aus. Beim Einbau in vorhandene Gebäude sind sie deutlich niedriger.

<b>Angebotsinvestitionen</b>	<b>Zusatzinvestitionen</b>
Trocknung (mit Förderwegen)	Betonarbeiten
Reinigung ( " )	Öllagerung
Waage ( " )	Brennerraum
Lagerung ( " )	Stromversorgung
Lagerbefüllung	Probenahme
Kühlung	Temperaturkontrolle
Lagerentleerung	Entwässerung (Drainage)
Ablaufrohre	Zuwegung
Montage	Architektenhonorar, Statik, Bauantrag

**Abbildung 37:** Teile einer kompletten Getreideanlage

Welche Investitionen für die einzelnen Teilbereiche erforderlich sind, zeigt Tabelle 18. Sie zeigt auch, dass bei den Durchlauf-trocknungsanlagen erhebliche Rabatte erzielt werden konnten, was bei den Lagerbelüftungstrocknungen nicht so gut möglich war.

**Tabelle 18:** Investitionen für Trocknung und Lagerung (DM/m<sup>3</sup>)  
(1.500-2.000 m<sup>3</sup> Lagerraum; vorhandene Gebäude, 4 Zellen;  
40 t/h Förderleistung; Reinigung; Waage; Kühlung; Firmenangebote)

	Durchlauftrocknung	Belüftungstrocknung
<b>Anlagenbestandteile</b>		
Lagerung	60 - 70	50 - 70
Förderung	60 - 70	50 - 60
Reinigung, Waage	10 - 15	10 - 15
Trocknung, Belüftung	90 - 110	45 - 60
Montage	15 - 25	10 - 15
<b>Zusatzinvestitionen</b>		
Betonarbeiten	10 - 30	10 - 15
Elektrik	10 - 15	5 - 10
Kleinmaterial	2 - 6	1 - 4
Baugenehmigungsunterlagen	5 - 20	5 - 15
Firmenangebote	260 - 320	180 - 240
Erstellte Anlagen	210 - 260	170 - 230

**Tabelle 19:** Energiekosten Getreidetrocknung (DM/t)  
(Erntemenge 5.000 t/a; Feuchtegehalt 17 %; Strompreis 0,20 DM/kWh;  
Strombereitstellung 250 DM/kW; Heizölpreis 0,35 DM/l)

	Durchlauftrocknung		Belüftungstrocknung mit Umluftbetrieb		
	10 t/h NL <sup>1)</sup>	20 t/h NL <sup>1)</sup>	Elektroantrieb	Dieselantrieb	
Antriebsleistung	60 kW	100 kW	60 kW	100 kW	
Brennerleistung	600 kW	1200 kW	150 kW	75 kW	
Strombereitstellung <sup>2)</sup>	20%	20%	20%	20%	0%
Antriebskosten	1,10 - 1,30	0,90 - 1,10	1,10 - 1,50	1,40 - 1,60	0,40 - 0,60
Kosten Lufterwärmung	2,60	2,60	0,60 - 1,60	0,30 - 0,80	0,30
<b>Gesamtkosten</b>	<b>3,70 - 3,90</b>	<b>3,50 - 3,70</b>	<b>1,70 - 2,80</b>	<b>1,70 - 2,40</b>	<b>0,70 - 0,90</b>

<sup>1)</sup> NL = Nennleistung

<sup>2)</sup> zusätzliche Strombereitstellung für die Trocknungsanlage

Deutliche Unterschiede haben wir auch im Energieverbrauch und somit bei den Energiekosten der verschiedenen Anlagen festgestellt. Die entsprechenden Durchschnittswerte sind in Tabelle 19 dargestellt.

Die Werte zeigen, dass eine Lagerbelüftungstrocknung die natürliche Trocknungsfähigkeit der Außenluft deutlich besser nutzt als ein Durchlauf-trocknungsverfahren. Nur in Gebieten mit sehr feuchter Witterung schnellen die Werte deutlich nach oben. Richtig kostengünstig wird eine Lagerbelüftung erst beim Einsatz eines Dieselaggregates, dessen Abwärme für die Luftanwärmung genutzt wird.

## 9. Marktangebot an Lagerbelüftungstrocknungen

Lagerbelüftungstrocknungen sind keine Standardanlagen. Sie müssen aus vielen Einzelteilen zusammengeplant und zusammengebaut werden. Praktische Erfahrungen bei der Planung von derartigen Anlagen sind deshalb besonders wichtig. Die längsten Erfahrungen im Bau von Lagerbelüftungstrocknungen hat die Firma Geerds; die meisten Anlagen hat die Firma Dameco gebaut.

In Tabelle 20 nennen wir Ihnen Firmen, die komplette Lagerbelüftungstrocknungen bzw. Einzelkomponenten bundesweit anbieten, liefern und montieren.

### **Die in Tabelle 20 aufgeführten Firmen haben folgende Adressen:**

**Agrotec GmbH**, Industriestr.: 2, 30916 Isernhagen H.B., Tel. 0511-779016, Fax: 0511-733400

**Dameco GmbH**, Büsumer Str. 80-86, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-4530, Fax: 04331-453199

**Flex - Technik**, Engerstr. 131, 33824 Werther, Tel. 05203-884467, Fax: 05203-884498

**Geerds Hans & Malte GbR**, Hauptstr. 14, 24257 Köhn, Tel. 04385-222, Fax: 04385-5146

**Hedemann Agrartechnik**, Neuenburger Str. 80, 26655 Westerstede, Tel. 04488-2023, Fax: 04488-6250

**HIMEL Maschinen**, Mittelhofenstr. 11-21, 72379 Burladingen-M., Tel. 07126-92990, Fax: 07126-92991

**METON Köster GmbH**, Wöhlerstr. 4, 81247 München, Tel. 089-8118314, Fax: 089-8116168

**NEUERO GmbH**, Hermann-Unbefunde-Str. 6, 49324 Melle, Tel. 05422-9440-0, Fax: 05422-9440

**RAKO Maschinenbau GmbH & Co. KG**, Lindern 32, 27232 Sulingen, Tel. 04271-1031, Fax: 04271-2977

**RIELA Getreidetechnik**, Münsterstr. 45 + 71, 48469 Riesenbeck, Tel. 05454-7051, Fax: 05454-326

**Steinhage**, 32108 Bad Salzuflen - Retzen, Tel. 05222-94790, Fax: 05222-21035

**Tornado**, Horstkötter & Co. KG, Am Siechenbach 15, 59269 Beckum, Tel. 02521-87070, Fax: 02521-18149

**Waltinger GmbH**, Am Lagerhaus 4, 97464 Oberwern b. Schweinfurt, Tel. 09726-700/709, Fax: 09726-1729

**Tabelle 20:** Marktangebot Lager-Belüftungstrocknungen

(Feuchtigkeitsentzug max. 4%)

Firma	Anlagen - Bestandteile																	
	Getreidehallen	Flachsilowände für Radladerentleerung	Dieselgebläse	Elektrogebläse	Überflur - Belüftungskanäle	Düsenkanäle oder Düsenböden	Unterflurkanäle	Beton - Einbaukanäle	Teleskopkanäle	befahrbare Belüftungsböden	Hauptluftkanäle	Fördertechnik	stationäre Verteilanlagen	Verteilschleudern	Warmluft erzeuger	Belüftungsregelung	Umluftregelung	Kontrollgeräte
Agrotec				x	x	x	x				x	x	x	x	x	x		
Dameco	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Flextechnik		x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x		
Geerds	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	x
Hedemann				x	x	x	x					x	x		x	x		
Himel				x	x		x					x			x	x		
Meton				x	x	x	x				x	x	x		x	x		
Neuero				x	x		x				x	x			x	x		
Rako				x	x	x	x				x	x	x		x	x		
Riela		x		x	x	x	x				x	x	x	x	x	x		
Steinhage	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x		
Tornado				x	x		x					x			x	x		
Waltinger		x		x	x	x	x		x		x	x			x			

Firmen, die Anlagen anbieten, die maximal 1-2 % Feuchte dem Getreide entziehen bzw. nur kühlen können, sind in Tabelle 20 nicht mit erfasst.

## 10. Zusammenfassung

In der vorliegenden Broschüre sind die wichtigsten Planungsdaten für den Bau und Betrieb einer Lagerbelüftungstrocknung dargestellt und erläutert. Folgende Punkte sollten besonders beachtet werden:

1. Die Wände der Lagerzellen sollten luftdicht und einfach zu reinigen sein sowie keine Schlupflöcher für Schädlinge aufweisen.
2. Die Zellen sollten schichtweise mit vorgereinigter Ware befüllt werden.
3. Raps darf nur halb so hoch wie Getreide geschüttet werden.
4. Die erlaubte Schütthöhe hängt von der Kornfeuchtigkeit ab.
5. Vor dem Trocknungsbeginn sollte das Erntegut möglichst einen Tag lang ohne Belüftung schwitzen.
6. Gebläse mit Dieselantrieb sind flexibler einsetzbar und verursachen geringere Energiekosten als Gebläse mit Elektroantrieb.
7. Nutzen Sie die Möglichkeit des Umluftbetriebes. Er vereinfacht die Regelung und steigert die Leistung erheblich. Der Anteil der Umluft sollte ca. 70 % betragen.
8. Die Regelung der Anlage erfolgt immer nach der relativen Luftfeuchte und ist nur mit elektronischem Gerät realisierbar.
9. Achten Sie auf Luftdruck und Luftgeschwindigkeit in den Kanälen: Optimal sind: Luftdruck = 100 - 150 mm WS, Luftgeschwindigkeit = 10 - 15 m/s.
10. Planen Sie eine Luftrate von 15 m<sup>3</sup> Luft je m<sup>3</sup> Getreide und Stunde je Prozent Feuchteentzug.
11. Achten Sie auf einen geringen Strömungswiderstand der Luft in den Kanälen (große Kanalquerschnitte, hoher Lochanteil auf den Kanalblechen je m<sup>2</sup> Zellengrundfläche).
12. Die Kanalabstände sind abhängig vom Feuchtigkeitsentzug der eingelagerten Früchte. 1,5 m Abstand zwischen den Kanälen sollten nicht überschritten werden. Alle Kanäle müssen 0,5 m vor der Zellenwand enden.
13. Die Regelung der relativen Luftfeuchte erfolgt am preiswertesten über Warmlufterzeuger, die mit Gas oder Heizöl betrieben werden.
14. Der Betriebszustand wird am einfachsten über ein selbstgebautes U-Rohr-Manometer kontrolliert.

## 11. Literaturverzeichnis Lagerbelüftungstrocknungen

- |    |                       |  |   |
|----|-----------------------|--|---|
| 1  | Brook, R.C.           | Heat pumps for near-ambient Grain drying   | NIAE Divisional Note<br>Nr. 1308, 85                      |
| 2  | Coenen, A.            | Theoretische und experimentelle<br>Untersuchungen zur Kühlzwischenlagerung<br>und Belüftungssatztrocknung von Weizen | Diss. Uni. Göttingen,<br>Inst.f. Landtechnik, 87          |
| 3  | Decken v.d.,<br>H.    | Wann sich eine eigene Trocknung lohnt  | Top agrar Spezial<br>Nr.11, S.18-21, 98                   |
| 4  | Div. Autoren          | Konservierung und Lagerung von Getreide.<br>Vortragsmanuskripte einer Fachtagung                                     | KTBL - Arbeitspapier<br>Nr.166, 92                        |
| 5  | Grünewald, E.         | Umluftbetrieb steigert die Leistung der<br>Belüftungstrocknung   | Ernährungsdienst vom<br>15.10.97 S.10                     |
| 6  | Hügel, C., u.a.       | Lagerbelüftungstrocknung von Getreide  | Landtechnik Nr.7.<br>S.370-372, 93                        |
| 7  | Hügel, C., u.a.       | Einfluß der Belüftungstrocknung auf die<br>mycotoxikologische Qualität von Getreide                                  | Vortragsmanuskript<br>VDI-Tagung 92                       |
| 8  | Keiser v., H.         | Bedienungshinweise für<br>Lagerbelüftungstrocknungen   | RKL - Kartei, 4.3.1.1<br>S.955-959, 93                    |
| 9  | Keiser v., H.         | Belüftungstrocknung von Getreide   | RKL-Rundschreiben<br>Juni 92, S.1                         |
| 10 | Keiser v., H.         | Belüftungstrocknung von Getreide<br>(Nachdruck 86)   | RKL-Kartei 4.3.1.1,<br>S.639-678, 86                      |
| 11 | Keiser v., H.         | Planungsdaten für die Getreidetrocknung  | RKL-Kartei 4.3.1.1,<br>S.909-937, 87                      |
| 12 | Lacey, J. u.a.        | Micro-Organisms in Stored Grains   | Trop. Stored Prod. Inf.<br>39, P. 19-33, 80               |
| 13 | McLean, K.A.          | Drying and Storing Combinable Crops,<br>Second Edition   | Verlag: Farming Press,<br>U.K. 89                         |
| 14 | Maltry,W. u.a.        | Sonnenenergie zur Getreidetrocknung  | Landtechnik Nr.4,<br>S.210-211, 95                        |
| 15 | Nellist, M.E.<br>u.a. | A Comparison of Fan and Heater Control<br>Policies for Near-Ambient Drying   | AFRC-Research Nr.54,<br>88                                |
| 16 | N.N.                  | Klappe zu, wenn´s draußen warm wird  | Top agrar Nr.6, S.80-<br>81, 92                           |
| 17 | Morcos, B.            | Mikrobielle Entwicklung und Verderb bei der<br>Konservierung und Lagerung von Getreide                               | Diss. Uni. Göttingen<br>86, Inst.f. Landtechnik           |
| 18 | Pedersen, T.          | FGK - Informationen  | Persönliche<br>Mitteilungen 84-86                         |
| 19 | Pedersen, T.          | Belüftungstrocknung im Umluftverfahren   | Landtechnik Nr 6,<br>S.238-239, 87                        |
| 20 | Schmidt, M.           | Messungen an Anlagen zur Lagerbelüftungs-<br>trocknung von Getreide  | Dipl.-arbeit Inst. f.<br>landw. Verf.technik, 88          |
| 21 | Schollen, F.-P.       | Trocknung von Getreide bei Selbsterhitzung<br>und bei Behandlung mit entfeuchteter Luft                              | Diss. Universität Kiel<br>88, Inst.f.ldw.<br>Verfahrenst. |
| 22 | Schollen, F.-P.       | Wir trocknen jetzt mit Umluft  | Top agrar Nr.6, S.76-<br>78, 92                           |

