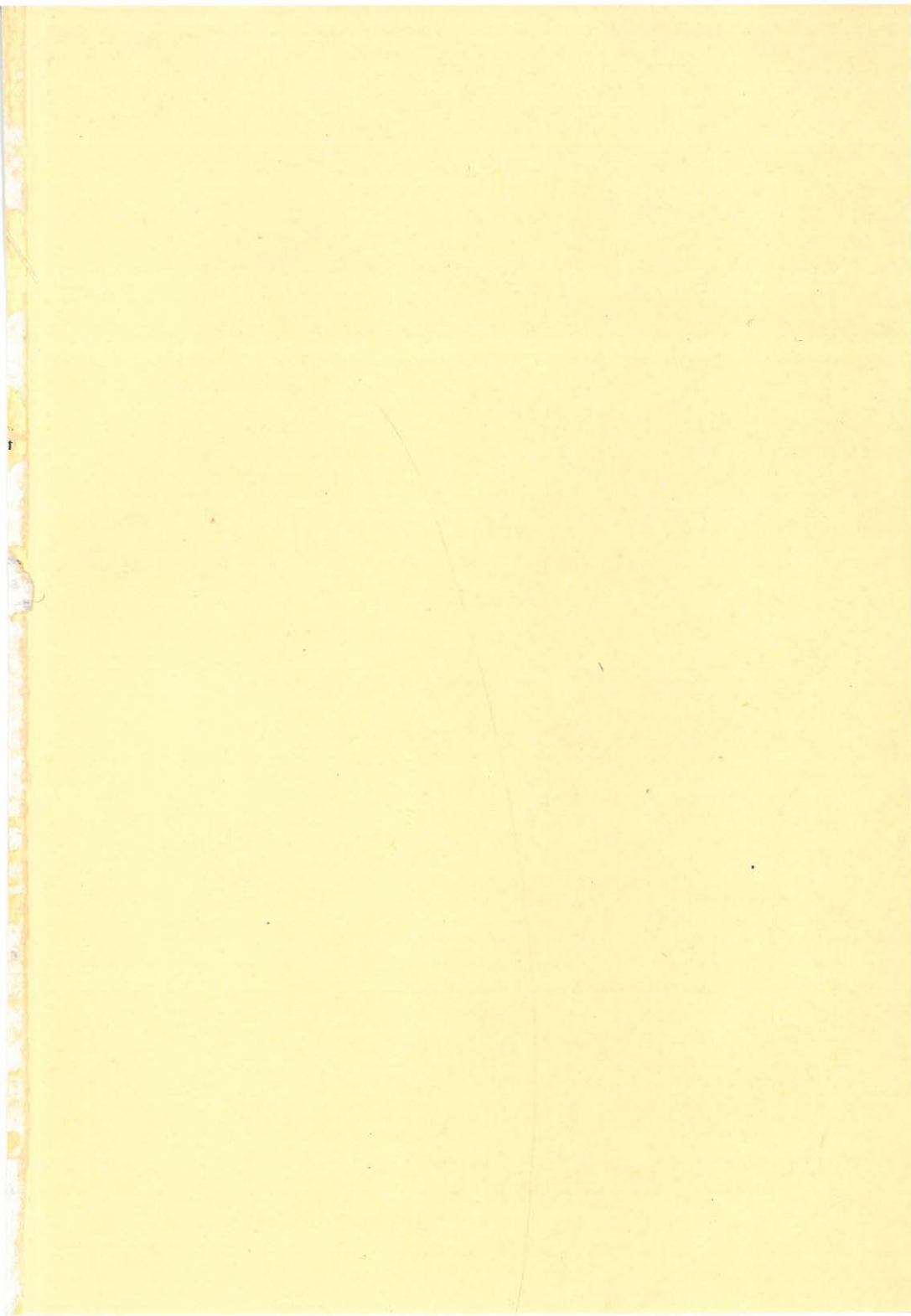


*BERICHTE ÜBER LANDTECHNIK*

45

**Die Voraussetzungen  
für die Lagerung und Belüftung  
von feucht geerntetem Getreide**

*Herausgegeben vom  
Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft  
Frankfurt / Main*



*Berichte über Landtechnik*

45

**Die Voraussetzungen  
für die Lagerung und Belüftung  
von feucht geerntetem Getreide**

Von

**Dr. agr. H. L. Wenner**

*Aus den Arbeiten des Instituts für Landtechnik, Bonn*

1955

---

**Verlag Hellmut Neureuter, München-Wolfratshausen**



## Vorwort

*Die vorliegende Arbeit von Dr. Wenner über die Voraussetzungen für die Lagerung und Belüftung von feucht geerntetem Getreide entstand im Institut für Landtechnik der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn (Direktor: Professor Dr. C. H. D e n c k e r). Ihr Inhalt beschäftigt sich mit den Vorgängen, die bei der Getreidelagerung und bei der Belüftung von feuchtem Korn auftreten. Es werden Anweisungen für die richtige Planung einer Belüftungsanlage und für die praktische Durchführung der Belüftung im landwirtschaftlichen Betrieb gegeben. Durch den ständig zunehmenden Erntedrusch gewinnt das Problem, die plötzlich anfallenden großen Getreidemengen teils auch auf dem Hof des Produzenten sicher aufzubewahren zu können, laufend an Aktualität. Das KTL glaubt daher, diese Arbeit vor allem den Beratern unserer landwirtschaftlichen Betriebe, aber auch dem Fachhandel und der Industrie zugänglich machen zu sollen.*

*Dem Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, das die Durchführung dieser Arbeiten und die Drucklegung dieses Heftes der KTL-Schriftenreihe „Berichte über Landtechnik“ ermöglichte, sei auch an dieser Stelle für seine unterstützende Hilfe gedankt.*

KURATORIUM FÜR TECHNIK  
IN DER LANDWIRTSCHAFT (KTL)

Dr. R i c h a r z



# Inhalt

	Seite
<b>I. Einleitung</b> .....	7
<b>II. Einfluß der Erntemethode auf die Getreidelagerung</b> .....	10
A. Unterschiedliche Erntebedingungen .....	10
B. Lagerung von vegetations- und quellfeuchtem Getreide .....	15
<b>III. Getreidekonservierung durch Belüftung</b> .....	19
A. Einfluß des Luftstromes .....	19
B. Wirkung der Temperatur .....	24
<b>IV. Getreidetrocknung durch Belüftung</b> .....	26
A. Allgemeine Voraussetzungen .....	26
a) Feuchtigkeitsaustausch zwischen Korn und Luft .....	26
b) Bedeutung der Luftanwärmung .....	31
c) Verlauf und Schnelligkeit der Trocknung .....	35
B. Vorgang in der Kornsäule .....	37
a) Versuchsanstellung .....	37
b) Wanderung der Getreidefeuchtigkeit, Luftfeuchtigkeit und Temperatur .....	41
c) Die Trocknungsgeschwindigkeit .....	48
d) Unterschiedliche Feuchtigkeitsschichtung bei der Einlagerung ..	55
<b>V. Praktische Anwendung der Belüftung</b> .....	59
A. Beendigung der Trocknung vor Minderung der Getreidequalität ..	59
a) Beschleunigung der Trocknung .....	60
b) Hinausschieben des Verderbens .....	62
B. Bedeutung des Klimas .....	66
a) Tag- und Nachtschwankungen .....	66
b) Unterschiede im Jahr .....	69
c) Verschiedene Klimagebiete .....	70
C. Auswahl der richtigen Belüftungszeit .....	72
a) Belüftung ohne Unterbrechung .....	73
b) Absätzliche Belüftung .....	74
D. Erforderliche Gebläseleistung .....	78
a) Benötigte Luftmenge .....	78
b) Notwendiger Kraftbedarf .....	83
<b>VI. Zusammenfassung</b> .....	87
Literaturverzeichnis .....	90
Anhang .....	92





# I. Einleitung

Das Getreide hat in der menschlichen Ernährung seit jeher eine erstrangige Stellung eingenommen. Diese Bedeutung verdankt es seiner vielseitigen Verwendungsmöglichkeit sowohl direkt als Hauptnahrungsmittel als auch indirekt durch Veredlung zu hochwertigen Ernährungsprodukten. Hinzu kommt, daß es haltbar aufbewahrt werden kann und somit nicht gleich nach der Ernte verwertet werden muß.

Der vermehrten Nachfrage steht eine starke Getreideerzeugung gegenüber. Sie bildet die Grundlage der deutschen Landwirtschaft, da in der Bundesrepublik Deutschland über 50 % der Gesamtackerfläche vom Getreideanbau eingenommen wird. Diese große Verbreitung verdankt das Getreide mit seinen verschiedenen Arten und Sorten in erster Linie der guten Anpassung an fast alle Boden- und Klimaverhältnisse, die überhaupt eine landwirtschaftliche Nutzung zulassen. Außerdem ist der Getreidebau verhältnismäßig gut für eine Mechanisierung geeignet, die aus Gründen der Rationalisierung und der Arbeitersparnis auch in der Landwirtschaft immer notwendiger wird.

Im Laufe der technischen Entwicklung fanden so schon früh entsprechende Maschinen bei der Getreideernte Verwendung. Ihr Einsatz ermöglicht heute sogar ein verändertes Produktionsverfahren, den Erntedrusch. Während nach der alten Erntemethode durch den Umweg über den Bansen vermehrte Arbeit geleistet werden muß, erlaubt ein sofortiges Ernten und Trennen der Produkte eine wesentliche Arbeitersparnis. Aus diesem Grunde ist das Verfahren des Erntedrusches in ständigem Vordringen.

Von den verschiedenen Möglichkeiten seiner Durchführung stellt der Mähdrusch die radikalste Lösung dar, nämlich die Zusammenfassung fast aller einzelnen Arbeitsvorgänge. Er bedeutet aber nicht nur eine vollkommene Umstellung der bisherigen Arbeitsverfahren, sondern bringt auch insofern teilweise andere physiologische Bedingungen für das Getreide mit sich, als dieses nun nicht mehr durch frühzeitigen Schnitt in seinem natürlichen Ausreifeprozess unterbrochen wird. Zudem ist das Korn auf dem Halm besonders stark von den Witterungsverhältnissen abhängig und damit auch der Einsatz des Mähdreschers.

Eine Ernte ist aber erst dann als gelungen anzusehen, wenn das gewonnene Getreide in einwandfreiem Zustand geborgen und weiterhin aufbewahrt werden kann. Neuartige Verfahren sind abzulehnen, wenn mit ihnen sowohl bei der Gewinnung als auch bei der Lagerung eine Verschlechterung der Qualität des Erntegutes verbunden ist, es sei denn, es bestehen einfache und brauchbare Lösungen für nachträgliche Behandlungsmaßnahmen, durch die eine verbesserte Qualität und Lagerfähigkeit erreicht wird.

So treten als Folgeerscheinungen des Erntedrusches, besonders aber des Mähdrusches manche Schwierigkeiten auf. Dabei verdient neben dem Problem der Stroh- und Spreubergung dasjenige der Körnerbehandlung und -aufbewahrung besondere Beachtung. Abgesehen von den schlagartig anfallenden Kornmengen, die sofort nach der Ernte zu lagern sind und eine große Speicherkapazität verlangen, besitzt dieses Getreide infolge unseres maritimen Klimas vielfach mehr Feuchtigkeit, als für eine ordnungsgemäße Lagerung zuträglich ist. Besonders das mit dem Mähdruscher zu feucht geerntete Korn kann ohne entsprechende Nachbehandlung sehr schnell verderben, wie im Verlauf der Arbeit eingehender ausgeführt wird.

Soll also das Verfahren des Erntedrusches in weiten, klimatisch ungünstigen Gebieten Westdeutschlands nicht scheitern, muß dafür gesorgt werden, daß dieses feuchte Getreide haltbar und sicher gelagert werden kann. Hierfür bestehen nun zwei Möglichkeiten: Entweder gibt der Landwirt das Getreide zur Weiterbehandlung sofort in ein Lagerhaus oder aber er führt selbst die Trocknung und Lagerung auf seinem eigenen Hofe durch. Diese beiden Wege unterscheiden sich wesentlich.

Im Lagerhaus werden verschieden große Partien Getreide mit unterschiedlichem Feuchtigkeitsgrad angeliefert. Diese müssen schnell auf einen lagerfähigen Zustand mit gleichmäßigem Wassergehalt heruntergetrocknet werden. Man verwendet hierzu Trocknungsapparate, meist Durchlaufrockner, bei denen das Getreide nur verhältnismäßig kurze Zeit einer stark erhitzten Luft ausgesetzt ist. Anschließend an die Trocknung kann dann das Getreide in Speicherräumen eingelagert werden.

Auf dem Bauernhof wäre dagegen ein solches Vorgehen unrentabel; hier ist vielmehr eine einfachere und billigere Lösung anzustreben. Entsprechend den gegenüber dem Lagerhaus andersartigen Bedingungen besteht auf dem Hof die Möglichkeit, die wenigen Getreidepartien gesondert zu behandeln. Dabei kann die Trocknung langsam und mit Hilfe von atmosphärischer oder nur etwas angewärmter Luft erfolgen. Um außerdem die Kosten niedrig zu halten, ist es zweckmäßig, Trocknung und Lagerung miteinander zu verbinden, also das Getreide in ruhendem Zustand im Lagerbehälter selbst zu trocknen.

In der vorliegenden Arbeit sollen der eben skizzierte Weg der Getreidetrocknung auf dem Hof und die dabei auftretenden Probleme näher untersucht werden. Wie durch Versuche nachgewiesen wird, übt eine derartige Belüftung auf das feuchte Korn eine Konservierungswirkung aus, die gleichzeitig neben der Trocknung vorhanden ist. Diese hängt von vielerlei Einflüssen ab, von denen die Trocknungsfähigkeit der Luft, die durch das Getreide hindurchgeblasen wird, eine besondere Bedeutung besitzt. Also müssen auch das jeweils herrschende Klima sowie die richtige Wahl der täglichen Belüftungszeiten berücksichtigt werden. Für die praktische Anwendung der Belüftung ist außerdem eine richtige Bemessung der Gebläseleistung wichtig; denn die vom Ventilator zu liefernde Luftmenge muß der jeweils anfallenden Menge feuchten Getreides angepaßt sein, damit die Trocknung rechtzeitig beendet wird. Auch der bei der Durchlüftung einer Getreideschicht auftretende Druck, den das Gebläse zu überwinden hat, spielt eine wichtige Rolle.

Die in vier Versuchsjahren erworbenen Erfahrungen und Erkenntnisse, die mit der Belüftung zum Zweck der Konservierung und Trocknung von feucht eingelagertem Getreide gewonnen werden konnten, reichen jedoch nicht aus, um für alle Einzelheiten und Teilfragen zuverlässige Angaben zu liefern. Immerhin ist es möglich, neben einer eingehenden Behandlung des als gesichert Anerkannten einen allgemeinen Überblick über die bei der Belüftung auftauchenden Grundbedingungen zu geben.

## II. Einfluß der Erntemethode auf die Getreidelagerung

### A. Unterschiedliche Erntebedingungen

Bevor auf die Versuche mit der Belüftung feucht geernteten Getreides näher eingegangen wird, sollen zunächst die Zusammenhänge und Bedingungen geschildert werden, denen das Korn während seiner Reife, Ernte und Lagerung unterliegt. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Art und Weise der Erntedurchführung, so daß vorerst die Auswirkungen der unterschiedlichen Ernteverfahren auf das Verhalten des Getreidekornes untersucht werden.

Bei dem bisher allgemein üblichen Ernteverfahren mittels Binder, Hocke, Einbansen und Dreschen wird nicht das natürliche Ausreifen des Getreides auf dem Halm bis zur Totreife abgewartet, sondern der Getreidehalm schon in einem früheren Reifestadium von den im Boden befindlichen Pflanzenteilen getrennt. So gelangt der Binder meistens in der Gelbreife zum Einsatz, wenn der Wassergehalt der Körner noch ungefähr 35 % beträgt. Dieser in so frühem Reifestadium erfolgte Schnitt ist eigentlich als ein naturwidriger Vorgang anzusehen, der das natürliche Ausreifen des Kornes auf dem Halm verhindert. Er ist aber bei dem Binderernteverfahren unumgänglich, da bei einem späteren Schnittermin sehr viel höhere Verluste durch das Ausfallen der Körner aus der Ähre entstehen können.

Ein wesentlich früherer Schnitt als der zur Zeit der Gelbreife hätte unter Umständen eine geringere Stoffeinlagerung zur Folge, die sich durch spätere Kornschumpfung und verminderte Qualität des Getreides äußern kann. Zudem ist zu früh gemähtes Getreide bei der späteren Lagerung durch besonders starkes Schwitzen sehr gefährdet.

Gleichzeitig mit dem Abschneiden des Getreidehalms leistet der Binder die Arbeit des Zusammenraffens und Sammelns des Erntegutes in einzelne Garben. Die sehr voluminösen und sperrigen Pflanzenteile werden geordnet, ausgerichtet und zu kleinen „Paketen“ zusammengebunden. Der Sinn dieses Vorganges liegt nur in der später leichteren Handhabung und Weiterverarbeitung des Erntegutes. Es erfolgte aber eine bessere Ausreifung und eine schnellere Trocknung des Getreides, wenn die Halme und Ähren nicht in Garben zusammengefaßt würden, sondern ihre Verteilung auf dem Feld beibehielten.

Die Güte des Kornes, das heißt sein Saat- und Verbrauchswert, ist wesentlich abhängig von den Einflüssen, denen das Getreide nach dem Schnitt ausgesetzt ist. So muß alle weitere Behandlung des Getreides im Anschluß an die Mahd auf eine möglichst schnelle Trocknung des Erntegutes ausgerichtet sein, da

das noch feuchte Korn nach vollendeter Stoffeinwanderung stark atmet und an Substanz verliert. Außerdem tritt bei lang anhaltender Feuchtigkeit eine Qualitätsminderung und schließlich sogar Auswuchs ein.

Um die Getreidegarben vor Regenfeuchtigkeit zu schützen, werden sie zu Hocken und Puppen zusammengestellt. In ungünstigen Klimagebieten werden außerdem noch besondere Schutzmaßnahmen getroffen wie das Bedecken mit Sturzgarben und Hauben. In der Hocke erfolgt so die weitere Wasserabgabe der Kornfeuchtigkeit an die Atmosphäre und die Fortsetzung des Reifeprozesses. Aber nicht nur die Körner müssen von der Luft getrocknet werden, sondern auch die zum Teil noch sehr feuchten Halme und bei unreinem Bestand oder stark entwickelter Untersaat besonders die noch grünen Pflanzenteile. Letztere können sonst später zu gefährlicher Erhitzung im Bansen Veranlassung geben.

Der Zeitpunkt zum Einfahren des Getreides wird in der Praxis allgemein durch Beurteilung der Strohfeuchtigkeit festgestellt, die durch einen Handgriff in die Garbenmitte gefühlt wird, denn man rechnet, wenn auch unbewußt, damit, daß bei trockenem Stroh das Korn ebenfalls trocken und später lagerfähig ist. Eine genauere Beurteilung der genügenden Ausreife und des Wassergehaltes im Getreidekorn muß aber in der breiten Praxis an den Schwierigkeiten der erforderlichen Untersuchungsmethoden scheitern.

Ist nun das Getreide genügend abgetrocknet, wird es eingefahren und in Scheunen oder Diemen eingebannt. Hier setzt mehr oder weniger stark der Schwitzprozeß ein, zum Teil gefördert durch Selbsterwärmung noch grüner Strohteile. Nicht selten erleidet zu feucht eingebanntes Getreide erhebliche Substanzverluste durch gesteigerte Atmung, und selbst sein Konsumwert kann durch Auskeimen der Körner teilweise verloren gehen. Trotzdem lagert aber etwas feuchtes Getreide im Gestroh immer noch besser als ausgedroschenes im Haufen auf dem Kornboden. Die durch die Sperrigkeit des Strohes bedingten größeren Lufthohlräume verhindern nämlich infolge von Wärmeableitung eine durch die Atmungstätigkeit hervorgerufene intensivere Erhitzung der Körner. Auf diesen Vorgang soll später noch näher eingegangen werden.

Durch den Ausdrusch der Getreidegarben erfolgt die Trennung von Stroh und Korn. Beim Dreschvorgang können mechanische Beschädigungen der Körner durch richtige Einstellung der Maschine vermieden werden. Allerdings lassen sie sich bei zu trockenem und überfeuchtem Getreide kaum verhindern.

Zur anschließenden Lagerung werden die Getreidekörner auf den Schüttböden und Speichern aufbewahrt. Die Schwierigkeit dieser Körnerlagerung liegt hauptsächlich darin, daß es sich bei dem Getreide nicht um totes Material sondern um einen lebenden Organismus handelt, dessen wichtigste Lebensäußerung in der Atmung besteht. Vom Korn wird dabei Sauerstoff aufgenommen und zusammen mit den Kohlehydraten, die als großer Nährstoffvorrat vorhanden sind, in Kohlensäure und Wasser zerlegt. Bei diesem Vorgang wird außerdem noch Wärme erzeugt. Die Stärke dieser Atmung ist in erster Linie abhängig von der Getreidefeuchtigkeit, dann aber auch von der Temperatur. Trockenes Korn mit einem Wassergehalt von 14 % und weniger

befindet sich bei nicht zu hoher Temperatur in einem Zustand der Ruhe und atmet nur sehr schwach; solches Getreide gilt als absolut lagerfähig. Mit steigender Feuchtigkeit und Temperatur wird die Atmung der Körner intensiver, wodurch erhebliche Substanzverluste auftreten und ein Verderben des Getreides eingeleitet wird; denn infolge verstärkter Atmung werden erhebliche Mengen an physiologischem Umsetzungswasser und an Wärme gebildet, die ihrerseits wiederum die Atmung erhöhen. Dieser Vorgang kann sich um so mehr bis zum vollständigen Verderben des Getreides steigern, als die erzeugte Wärme wegen der schlechten Leitfähigkeit des Kornes nicht fortgeführt wird.

Hinzu kommt noch die Schädigung solch nassen Getreides durch Schimmelpilze und Bakterien. Diese Mikroorganismen finden in dem feucht-warmen Medium günstige Entwicklungsmöglichkeiten, haben an der Zersetzung des Getreidekornes, das ihnen mit seinem großen Vorrat an Kohlehydraten einen guten Nährboden bietet, starken Anteil und verursachen ihrerseits durch große Atmungsintensität eine Steigerung des Wassergehaltes und der Wärme. Durch Schimmelpilzbefall nimmt dabei das Getreide zuerst einen eigentümlichen, muffigen Geruch an, der von stickstoffhaltigen Abbaustoffen der Kornsubstanz herrührt. Die Schimmelpilze bevorzugen besonders den Keimling, da dieser am wasser- und nährstoffreichsten ist, wachsen von hier aus in das Korn hinein und verderben es schließlich vollständig. Ist das Getreide bei dem Dreschvorgang mechanisch beschädigt worden, ist es besonders gefährdet; denn dann können die Schimmelsporen viel leichter in die Spalten und Haarrisse des Kornes eindringen. Infiziert wird das Getreide meist schon vor der Ernte, besonders dann, wenn es sich bei feuchtem Wetter neigt und die Ähren den Erdboden berühren. Derartiges Korn ist bei späterer, feuchter Lagerung einem schnellen Zersetzungsprozeß ausgesetzt, der zu einem vollständigen Abbau und Faulen und damit zum Verderben führen kann. Selbst leicht muffiges Getreide, das anschließend durch Trocknung und andere Behandlung konditioniert wird, ist nicht mehr sicher lagerfähig, da sein Gehalt an stark zelluloselösenden Enzymen durch den Pilz- und Bakterienbefall gestiegen und eine teilweise Zersetzung der Kornsubstanz in Körper sehr labiler Art erfolgt ist. Eine Weiterverarbeitung dieses Getreides zur menschlichen Ernährung ist kaum noch möglich, weil der muffige Geruch dem Mehl und auch noch dem Gebäck anhaften bleibt.

Auch ausgewachsenes Korn besitzt nur geringe Verwendungsmöglichkeit und kann als Brotgetreide nur selten gebraucht werden. Außerdem verursacht schon geringer Auswuchs besondere Schwierigkeiten bei einer sicheren Getreideaufbewahrung. Ausgewachsenes Getreide enthält nämlich einen Mehrgehalt an Enzymen in mobilisierter Form, die eine weitere Zersetzung sehr erleichtern. Während also schon der Konsumwert des Getreides — seine Mahl- und Backfähigkeit und schließlich die Qualität des Gebäckes — schnell gefährdet ist, sind die Anforderungen für den Saatwert noch erheblich höher. Hat doch nur vollkommen gesundes, trocken gelagertes und nicht durch Mikroorganismen geschädigtes Getreide seine volle Keimfähigkeit, Keim-schnelligkeit und Triebkraft.

Somit ist die wesentlichste Aufgabe der Lagerhaltung möglichst weitgehende Herabsetzung der Körneratmung und Schutz vor Schädigungen durch

Mikroorganismen. Die Behandlung des gedroschenen Getreides muß also auf niedrige Kornfeuchtigkeit und niedrige Lagertemperaturen hinzielen. Auf den in der Praxis vorhandenen Schüttböden geschieht dies allgemein durch das Umschaukeln des Getreides, das hierbei mit trockener und kühler Luft in Berührung kommen soll und bei diesem Vorgang durchmischt und umgeschichtet wird. Voraussetzung für eine günstige Trocken- und Kühlwirkung ist jedoch eine entsprechend trockene und kalte Luft, die zudem in kräftigem Winddurchzug bei offenen Fenstern über das Getreide streichen soll. Je feuchter dieser nun eingelagert wird, desto häufiger muß umgeschaukelt werden und um so niedriger soll die Lagerhöhe sein. Denn öfteres Umwerfen — bei sehr feuchtem Korn sogar mehrmals am Tag — bewirkt wiederholte, intensive Berührung mit der Luft. Außerdem kommen bei niedriger Schütthöhe mehr Körner dauernd mit der Außenluft in Berührung, da die Oberfläche im Verhältnis zum Inhalt des Getreidehaufens entsprechend größer ist. So darf die Lagerhöhe bei hohem Wassergehalt der Körner nur einige Zentimeter betragen. Trocknet das Getreide nun langsam ab, kann in gleichem Maße höher aufgeschüttet werden und das Umschaukeln braucht nicht mehr so oft zu erfolgen. Wie schon erwähnt, ist dann bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 14 %, eine sichere Lagerfähigkeit erreicht; das Getreide bedarf keiner Behandlung mehr und kann unbegrenzt hoch gelagert werden. Allerdings ist eine weitere Beobachtung der Kornfeuchtigkeit und -temperatur unerlässlich.

Bei sachgemäßer Trocknung und Lagerung können so die Substanzverluste infolge Atmung und Mikrobentätigkeit auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Trotzdem beträgt der Schwund in normalen Erntejahren bei anschließender einjähriger Lagerung immer noch etwa 3 bis 4 %<sup>1)</sup>, wogegen die Verluste diesen Wert in feuchten Jahren um ein Vielfaches übersteigen. Hinzu kommen oft Einbußen durch tierische Schädlinge, hauptsächlich durch Kornkäfer, Kornmotte, Mehlmotte, Mehlmilbe und Maus.

Gegenüber der Erntemethode durch Binder, Hocke, Bansen, Dreschen und Lagerung bringt das Verfahren des Mähdrusches einen anderen Ernteverlauf mit sich, bei dem das Getreidekorn von der Reife bis zur Lagerung teilweise anderen Bedingungen ausgesetzt ist.

Während der Binder im Stadium der Gelbreife schneidet, erfolgt die Trennung des Halmes von den Wurzelteilen beim Mähdrusch meistens in einem Zwischenstadium zwischen Voll- zu Totreife<sup>2)</sup>. Das bedeutet, daß das Getreide den Reifungsprozeß auf dem stehenden Halm durchlaufen kann, also in natürlicher Art und Weise. Welchen Einfluß das auf die stoffliche Ausbildung der einzelnen Kornsubstanzen und auf die Qualität des Getreides hat, ist noch nicht völlig geklärt. Auch die Witterung wird sich auf die Kornfeuchtigkeit des Getreides auf dem Halm anders auswirken als wenn es in der Hocke steht. Während nämlich im ersten Fall die einzelnen Ähren gleichmäßig auf das ganze Feld verteilt sind, stehen sie in der Hocke auf einem Bruchteil der Feldfläche zusammen. Dadurch sind den Witterungseinflüssen unterschiedliche Angriffsmöglichkeiten gegeben. Das Getreide auf dem Halm

1) E. Klapp, Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. Verlag Parey. Berlin 1951.

2) K. Mohs, Das Getreidekorn. Verlag Parey. Berlin 1931.

wird bei feuchtem Wetter (Regen) sehr schnell und viel Wasser aufnehmen, andererseits seine Feuchtigkeit bei trockener Witterung (Sonnenschein) ebenso schnell wieder abgeben; dasjenige in der Hocke aber wird langsamer und weniger im Wassergehalt steigen, der dann bei günstigem Wetter auch nur allmählich sinken wird. Folgt also im ersten Fall die Getreidefeuchtigkeit sehr schnell und intensiv der Witterung, wird der Wassergehalt des Kornes im zweiten Fall nur langsam und in geringerem Maße schwanken. Der Zeitpunkt für ein trockenes Ernten ist bei den zwei unterschiedlichen Methoden dementsprechend verschieden. Dagegen mag die mögliche Gesamtzeit für die Getreidebergung mit demselben Feuchtigkeitsgehalt bei beiden Ernteverfahren vielleicht ungefähr gleich sein. Versuche hierüber könnten sehr aufschlußreich sein.

Der Einsatz des Mähdruschers erfolgt also in der Praxis bei möglichst weit fortgeschrittenem Reifestadium des Getreides, aber noch bevor die Gefahr des Ausfallens der Körner und des Ährenbruchs allzu groß geworden ist. Die Kornausfallneigung ist art- und sortentypisch. Ganz besonders der Hafer ist in der Totreife anfällig.

Gleichzeitig mit dem Schneiden des Getreides wird beim Mähdrusch in einem Arbeitsgang das Ausdruschen der Körner erledigt. Also fällt hierbei bei dem vorigen Ernteverfahren beschriebene Zwischenlagerung im Bansen mit ihren Folgen für das Getreide weg. Die sofort erfolgte Teilung in Korn und Stroh erfordert eine getrennte Weiterbehandlung der Erntegüter.

Da durch den Mähdrusch plötzlich große Körnermengen anfallen, gestaltet sich einerseits die Lagerung auf den bäuerlichen Speichern vielfach sehr schwierig, andererseits aber bedeutet die Trocknung und einwandfreie Aufbewahrung von diesem, oft feucht geernteten Getreide ein noch größeres Problem. Hinzu kommt noch der Einfluß des vielfach schlechten Reinheitszustandes beim Mähdruschgetreide; denn größere Mengen Unkrautsamen und noch grüne Pflanzenteile können durch ihren hohen Wassergehalt die Kornfeuchtigkeit steigern. Das alles führt dann zu der landläufigen Meinung, daß solches, frisch mit dem Mähdrusch gewonnene Korn wegen seiner Feuchtigkeit bei der Einlagerung sofort einer starken Selbsterhitzung ausgesetzt sei, die ein schnelles Verderben des Lagergutes bewirke.

Entgegen dieser landläufigen Meinung wurde 1948 auf dem Versuchsgut Dikopshof bei Sechtem die Feststellung gemacht, daß durch Mähdrusch geerntete Gerste mit einem Wassergehalt von 22 % bei einer Lagerhöhe von 40 cm selbst nach mehrtägiger Lagerung auf dem Speicher keinerlei Temperaturanstieg zeigte. Hieraus drängte sich die Vermutung auf, daß einmal auf dem Halm totreif gewordenes Getreide, durch die Witterung wieder angefeuchtet, sich bei der anschließenden Lagerung anders verhalten müsse als noch nicht vollständig ausgereiftes Korn, das den gleichen Wassergehalt besitzt. Die sich aus dieser Folgerung ergebenden Untersuchungen werden im weiteren Verlauf der Arbeit beschrieben.

Zuvor aber sei noch das Verfahren des Hoferntedrusches als weitere Möglichkeit erwähnt. Es nimmt insofern eine Mittelstellung zwischen den beiden bereits geschilderten Erntemethoden ein, als der Verlauf der Getreidereife und sein Austrocknen beim Hoferntedrusch dem zuerst erörterten



Verfahren — Binder, Hocke, Bansen, Dreschen — bis zum Einfahren gleichkommt, während die weitere Verarbeitung des Erntegutes, also der Drusch aus der Hocke, dem Vorgang des Mähdrusches ähnelt, da die Zwischenlagerung im Bansen umgangen wird. Allerdings ist nun der Zeitpunkt des Dreschens aus der Hocke nicht durch die Gefahr des Kornausfalls begrenzt, so daß bei entsprechendem Klima in der Regel ein genügender Reife- und Austrocknungsgrad der Getreidekörner ohne allzu großes Risiko abgewartet werden kann. Die normalerweise bessere Lagerfähigkeit des Hoferntdruschgetreides erklärt sich aber hauptsächlich dadurch, daß bisher in der Regel nur ein Teil der Getreidefläche eines Betriebes nach diesem Verfahren abgeerntet wird. In klimatisch ungünstigen Gebieten fällt aber auch beim Hoferntdrusch oft sehr feuchtes Korn an.

## B. Lagerung von vegetations- und quellfeuchtem Getreide

Nachdem auf dem Versuchsgut Dikopshof beobachtet worden war, daß feuchtes, aber totreif geerntetes Mähdreschergetreide bei der anschließenden Lagerung nicht warm wurde, ergab sich die Frage, welchen Einfluß der Reifegrad auf die Lagerfähigkeit von Getreide mit bestimmtem Wassergehalt ausübt. Bei der Reife des Kornes werden einzelne, ineinandergelungene Stadien durchlaufen, von der Grün- oder Milchreife zur Gelbreife, dann weiter über die Vollreife bis zur Totreife. Dieser Reifeprozess ist dadurch charakterisiert, daß das Wasser, das zum Nährstofftransport von der Wurzel durch die Pflanze ins Korn gelangt ist, also das sogenannte Vegetationswasser, ständig abnimmt, da kein Nachschub durch die Pflanze mehr erfolgt. Diese Vegetationsfeuchtigkeit verringert sich von etwa 50 % bis auf 14 % oder weniger. Nun kommt aber zu diesem Vegetationswasser durch die Witterungseinflüsse von außen in das Korn noch sogenanntes Quellwasser hinein, das mit seinem Prozentanteil je nach vorhandenem Wetter mehr oder weniger heftigen Schwankungen unterworfen ist. Also besteht die Getreidefeuchtigkeit aus einem Anteil Vegetationswasser und einem Teil Quellwasser. Welche Folgen diese verschiedenen Feuchtigkeiten auf die Getreidelagerung besitzen, war Ziel eingehender Versuche. Um hierfür brauchbare Vergleichsproben zu erhalten, mußte Mähdruschgetreide einmal in bestimmten Zeitabschnitten geerntet werden, damit ein unterschiedlicher Reifegrad der Körner vorhanden war, zum anderen sollte dieses Getreide mit verschiedenen, aber ganz bestimmten Feuchtigkeitsgraden gelagert werden, um zu brauchbaren Vergleichswerten zu gelangen.

Als Einlagerungsfeuchtigkeiten wurden je 14 %, 18 % und 22 % Wassergehalt gewählt. Zur Erreichung entsprechender Proben mußte nasser geerntetes Getreide bis auf die bestimmten Wassergehaltsprozente auf einer selbstgebauten Darre getrocknet, dagegen trocken eingebrachtes Korn nachträglich durch Wasserzusatz <sup>1)</sup> auf diese bestimmten Feuchtigkeitsprozente gebracht werden.

<sup>1)</sup> Näheres über die Berechnung der Wasserzugabe siehe Anhang 1.

Nachdem nun ein Wassergehalt von je 14, 18 oder 22 % erreicht war, wurde das Getreide sofort zur weiteren Überwachung in kleine, etwa 2 dz fassende Holzboxen eingelagert.

Aus dieser Untersuchung ging folgendes hervor: Die Haltbarkeit des eingelagerten Kornes hängt in erster Linie vom Wassergehalt, daneben aber auch von seinem Reifezustand ab. Während die Einlagerungsproben mit 14 % Feuchtigkeit unbeschränkt lange gesund blieben, verdarben diejenigen mit 22 % Wassergehalt mehr oder weniger schnell; hierbei konnte beobachtet werden, daß bei gleich hohen Feuchtigkeitsprozenten ein bedeutender Unterschied im Verhalten von vegetativ-feuchtem Korn und solchem mit Quellwasser besteht.

Getreide, das einen größeren Anteil Vegetationswasser besitzt, unterliegt noch teilweise dem Vorgang der Um- und Ablagerung der Reservestoffe. Die enzymatischen und kolloidchemischen Prozesse zur Reifung des Getreidekornes sind noch nicht zur Ruhe gelangt. Hierauf mag die Tatsache beruhen, daß dieses vegetativfeuchte Korn — wie bei den Versuchen gemessen wurde — einer sofortigen, starken Selbsterhitzung ausgesetzt ist und deshalb sehr schnell verdirbt. Es stellte sich nämlich heraus, daß unreifes Getreide, z. B. im Übergang von der Gelb- zur Vollreife geerntet, mit 22 % Wassergehalt in wenigen Stunden in dem Lagerbehälter eine Temperatur von über 45° C erreichte und schon nach drei Tagen schlecht wurde. Somit bestätigte das vorliegende Versuchsergebnis die oft beobachtete praktische Erfahrung, daß feucht geerntetes Mähdruschgetreide bei der anschließenden Lagerung sofort warm wird und verdirbt. Hierbei kann es sich dann aber immer nur um vegetativ-feuchtes Korn handeln.

Besteht statt dessen die Getreidefeuchtigkeit hauptsächlich aus Quellwasser, so tritt laut Versuchsergebnis in den ersten Tagen nach der Einlagerung keinerlei Erwärmung auf. Im vollständig ausgereiften Korn sind sämtliche Ablagerungs- und Umbildungsprozesse abgeschlossen. Selbst ein Schwitzen des vollkommen totreifen Kornes konnte bei den Versuchen nicht beobachtet werden. Erst nach einer gewissen Zeit wurde bei hoher Einlagerungsfeuchtigkeit ein zuerst leichter, in den nachfolgenden Tagen aber stärker werdender Muffgeruch festgestellt, bis schließlich die Getreideprobe gänzlich verdarb. Bei diesem Versuch ließ sich teils gleichzeitig mit dem Auftreten der Muffigkeit, teils schon kurz vorher eine leichte, nur wenige Grad betragende Temperaturerhöhung registrieren. Diese langsame Wärmeentwicklung ist eindeutig auf die verstärkte Atmung der feuchten Körner und der Mikroorganismen zurückzuführen, auf die schon weiter oben näher eingegangen wurde. Also erhärten diese Versuchsergebnisse die 1948 auf dem Dikopshof gemachte Beobachtung, daß feuchtes Getreide, das vorwiegend Quellfeuchtigkeit, selbst bis zu 22 % Wassergehalt besitzt, bei der anschließenden Lagerung sich längere Zeit nicht erwärmt und verdirbt.

Aus den vorliegenden Untersuchungen kann für die Praxis des Mähdreschereinsatzes die Folgerung gezogen werden, daß möglichst mit dem Mähdrusch nicht vor Erreichen der Totreife begonnen werden soll, da andernfalls das gelagerte Korn sofort warm wird und der Gefahr des Verderbens ausgesetzt ist. Dagegen kann totreifes Getreide, selbst wenn es durch die Witterung etwas

feucht geworden ist, im Hinblick auf eine kurzzeitige Lagerung ruhig geerntet werden, ohne daß die Gefahr einer Selbsterwärmung allzu groß wird.

Die Frage, wieviel Tage lang dieses feucht eingelagerte, tot reife Mähdruschgetreide nach objektivem Wertmaßstab absolut einwandfrei blieb, also keinerlei Einbuße an Keimfähigkeit erlitt, bedurfte weiterhin noch einer Klärung. Zu diesem Zweck wurde wiederum totreif geerntetes Korn auf 22 % Wassergehalt angefeuchtet, in gut isolierten Behältern eingelagert und täglichen Keimfähigkeitsuntersuchungen unterworfen.

In Abb. 1 ist das Ergebnis eines dieser Versuche als Beispiel für den Verlauf einer Keimfähigkeitskurve wiedergegeben. Hierbei ist deutlich zu erkennen, daß die Keimfähigkeit nach der Einlagerung längere Zeit gleich blieb, dann aber schnell und stetig abfiel. Kurz nach dem Einsetzen der Keimfähigkeitsminderung konnte der Beginn der Muffigkeit und ein leichter Temperaturanstieg beobachtet werden.

Diese Minderung der Keimfähigkeit unterliegt jedoch in der Praxis großen Streuungen, wie durch die verschiedenartigsten Versuche nachgewiesen werden konnte; denn die mehr oder weniger lange Haltbarkeit von feuchtem Getreide hängt von vielerlei Einwirkungen ab, von denen hier einige aufgezählt werden sollen. Zunächst sei auf das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Getreidearten bei sonst gleichen Bedingungen hingewiesen. Es konnte im Verlauf dieser und späterer Versuche festgestellt werden, daß vor allem Roggen, aber auch Weizen bedeutend schneller verderben als Hafer, während die Gerste noch bessere Haltbarkeit besitzt. Eine Erklärung für die größere Immunität bei Hafer und Gerste mag in der Umhüllung durch die Spelze zu suchen sein.

Weiterhin ist neben der Kornfeuchtigkeit die Temperatur von großer Bedeutung, worauf später noch näher eingegangen werden soll. Auch die Witterung vor und während der Ernte beeinflusst in starkem Maße die Lagerfähigkeit des Getreides; erfolgt doch eine mehr oder weniger starke Infizierung der Körner mit schädlichen Pilzen und Bakterien größtenteils schon auf dem Felde. Außerdem ist ausgewachsenes Getreide, wie auch solches, das beim Drusch beschädigt wurde, bei der späteren Lagerung besonders gefährdet.

Neben den soeben erwähnten Einflüssen auf die Lagerhaltung des feuchten Kornes spielt sein Reinheitszustand eine besondere Rolle. Wie durch eigene Untersuchungen festgestellt wurde, verdirbt unreines Getreide, das zu Versuchszwecken zum Teil stark mit arteigenen Verunreinigungen versehen wurde, viel schneller als solches von einwandfreier Beschaffenheit. Es konnte dabei beobachtet werden, daß die Schimmelpilze sich zuerst an grünen Halmteilen, Spelzen und sonstigen Verunreinigungen, die einen verhältnismäßig hohen Wassergehalt besitzen, ansammelten und von da aus dann auf das Korn übergingen, das dann in kürzester Zeit muffig wurde und seine Keimfähigkeit verlor. So kann auch an sich lagerfestes Getreide durch stellenweise auftretende Nester von Verunreinigungen stark gefährdet werden, da diese als Infektionsherde zu einem Schlechtwerden des gesamten Getreidepostens

führen können. Hieraus ergibt sich für die Praxis die Forderung, vor der Einlagerung auf einen guten Reinheitszustand des Getreides zu achten und gegebenenfalls eine gesonderte Reinigung durchzuführen. Das hat besondere Bedeutung für Mähdruschgetreide, da dieses vielfach infolge Verunkrautung und Durchwuchs von Untersaaten stark verunreinigt geerntet wird. Aus diesem Grund ist man im Ausland, besonders in den Ländern mit ungünstigem Klima, vielfach dazu übergegangen, sämtliches Mähreschergetreide vor der Einlagerung über eine einfache Reinigungsanlage zu schicken. Auch bei uns in Deutschland wird das mit zunehmendem Mähreschereinsatz notwendig werden.

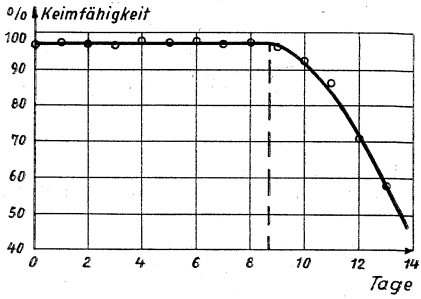


Abb. 1: Verhalten der Keimfähigkeit bei feucht eingelagertem Getreide (Roggen, 22 % Feuchtigkeit, Versuch 1951)

Als Folgerung dieser Versuche drängte sich nun die Frage auf, wie das Nachlassen der Keimfähigkeit hinausgeschoben oder noch besser ganz verhindert werden könne. Das käme einer Konservierung des Getreides gleich, so daß die Kurve von Abb. 1 vollkommen waagrecht verlaufen müßte.

Die hauptsächlich gebräuchlichen Konservierungsmethoden zielen auf eine Unterdrückung der Kornatmung hin, womit meistens gleichzeitig die Lebenstätigkeit von Pilzen und anderen Mikroorganismen unterbunden wird. Diese Kornatmung ist, wie weiter oben beschrieben wurde, an das Vorhandensein von Feuchtigkeit, Sauerstoff und Wärme gebunden. Somit kann durch Trocknung des feuchten Getreides, durch Sauerstoffentzug und durch Abkühlung eine Konservierung erreicht werden. Der Durchführung dieser Konservierungsmethoden stehen jedoch in der bäuerlichen Praxis große Schwierigkeiten gegenüber, da das Erntedruschverfahren zu einer völlig neuen Situation führt: Größere feuchte Getreidemengen fallen schlagartig an, wobei es sich vielfach um vegetativ-feuchtes Korn handelt. Daß die bisher übliche Methode, das feuchte Getreide durch Umschaukeln auf den Schüttböden zu trocknen, schon allein wegen des hohen Handarbeitsaufwandes nun versagen muß, bedarf keiner näheren Erörterung; ebenso scheitert bisher die Konservierung durch Abkühlung in der Praxis an der hierfür benötigten Einrichtung und auch der Sauerstoffentzug ist keine Möglichkeit, im landwirtschaftlichen Betrieb feuchtes Getreide haltbar zu lagern. Dieses Problem bedarf aber hier um so schneller einer brauchbaren Lösung, je stärker das Verfahren des Erntedrusches vordringt.

### III. Getreidekonservierung durch Belüftung

#### A. Einfluß des Luftstromes

Das Ziel der weiteren Überlegungen soll sich deshalb darauf richten, eine Methode der Getreidebehandlung zu finden, die sich mit einfachen und billigen Mitteln auf dem landwirtschaftlichen Betrieb durchführen läßt.

Wenn bisher feuchtes Korn auf dem Speicherboden häufig umgeschaufelt wird, so ist der Zweck, das Getreide der frischen Luft auszusetzen und nebenbei eine langsame Trocknung und kräftige Durchmischung zu erreichen. Von den beiden letzten Gesichtspunkten zunächst abgesehen, müßte eine Berührung mit Frischluft anstatt durch mühsames Umschaukeln besser dadurch zu erreichen sein, daß die Luft durch das lagernde Getreide hindurchgeblasen würde; denn es besteht eine verhältnismäßig einfache Möglichkeit, mit Hilfe eines Gebläses ruhendes Korn dauernd und nicht wie beim Umwerfen nur zeitweise mit frischer Luft zu versorgen. Außerdem ist es viel billiger und erfordert wesentlich weniger Energie, die Luft durch die lagernden Getreidehaufen zu bewegen als das Korn durch die Luft.

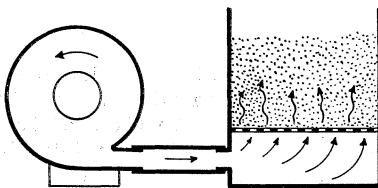


Abb. 2: Versuchsanlage zur Durchlüftung von Getreide

Um die Wirkung einer solchen Maßnahme zu studieren und die dabei auftretenden Zusammenhänge zu klären, wurden entsprechende Versuche angestellt. Die hierzu benutzte Einrichtung zeigt Abb. 2 im Schema. Ein viereckiger, nach oben offener Behälter, dessen Außenwände absolut luftdicht waren, nahm 100 kg Getreide auf. Dieses lagerte auf einem Zwischenboden aus engmaschigem Drahtgewebe, welches vollkommen luftdurchlässig war, die Getreidekörner aber nicht durchfallen ließ. Da der Zwischenboden in einer Höhe von 25 cm die Last des einzulagernden Getreides abfangen mußte, wurde er mittels einer kleinen Eisenstangenkonstruktion auf dem Behälterboden ab-

gestützt. Zwischen diesem und dem Drahtgeflecht entstand somit ein Raum, in den seitlich ein Rohr einmündete, das mit einem Gebläse in Verbindung stand. Die von diesem geförderte Luft wurde also durch das Zuführungsrohr in die Druckausgleichskammer zwischen Behälterboden und Drahtgewebe eingeleitet und konnte sich hier gleichmäßig über den ganzen Querschnitt verteilen. Ihr weiterer Weg führte dann senkrecht nach oben durch das Getreide, das so dauernd von Frischluft umspült war. Nach Verlassen der Kornsäule konnte die Luft frei entweichen.

Das Ergebnis eines derartigen Belüftungsversuches ist in Abb. 3 eingetragen. Sie zeigt den Verlauf zweier beliebig herausgegriffener Keimfähigkeitskurven, deren Werte wiederum täglich gemessen worden waren. Die eine Kurve stellt den Versuch mit künstlich durchlüftetem Getreide dar, das

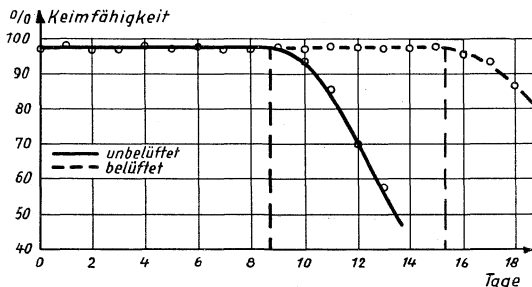


Abb. 3: Verhalten der Keimfähigkeit von unbelüftetem und belüftetem Getreide (Roggen, 22% Feuchtigkeit, Versuch 1951)

mit 22 % Feuchtigkeit eingelagert wurde, die andere gibt den Versuch mit nicht belüftetem, aber gleich feuchtem Korn wieder. Aus dieser Darstellung geht deutlich hervor, daß das unbelüftete Getreide wesentlich rascher und mit einem noch dazu schnelleren Abfall der Keimfähigkeit verdirbt als das mit Luft durchströmte. Das letztere wurde auch erst spät, sogar nach Beginn der Keimfähigkeitsminderung, zuerst nur leicht und dann nach und nach kräftiger muffig, während bei dem unbelüfteten Korn der Muffgeruch mehr plötzlich und intensiver auftrat. Dieser Unterschied in der Haltbarkeit feucht eingelagerten Getreides bewies, daß Durchlüftung zu einer Art Konservierung führt.

Der Grund für das längere Gesundbleiben des von Frischluft durchströmten Getreides kann vielleicht darin liegen, daß die Entwicklungsbedingungen für die Mikroorganismen ungünstiger werden, wenn sie einem Windstrom ausgesetzt sind. Bekannt ist die Tatsache, daß tierische Schädlinge, wie Kornkäfer, Milben u. a., im luftdurchblasenen Getreide nicht existieren können. Möglicherweise sind die Schimmelpilze und Bakterien ähnlich empfindlich.

Um nun darüber nähere Kenntnis zu erhalten, welchen Einfluß die stündlich eingeblasene Luftmenge auf die Haltbarkeit von feuchtem Korn ausübt, wurden mehrere Behälter — gleich denen des letzten Versuches — mit feuchtem Getreide zur gleichen Zeit unterschiedlich stark belüftet. Als Maß der Luftmenge wurden die stündlichen, je m<sup>2</sup> Belüftungsgrundfläche zugeführten m<sup>3</sup> Luft festgelegt und je ein Behälter mit 5, 25, 50 und 100 m<sup>3</sup> Luft je Stunde und m<sup>2</sup> beschickt. Diese geringen Luftmengen konnten auf eine sehr exakte Art durch Gasuhren einreguliert werden, die zwischen die Abzweigung vom Gebläse und die Druckausgleichkammer der Behälter eingeschaltet waren.

Die Ergebnisse dieses Versuches sind durch Abb. 4 erkennbar. Ein Abfallen der Keimfähigkeitskurve konnte nur bei dem Korn mit der geringsten stündlichen Luftmenge festgestellt werden, während bei dem Getreide in den drei Behältern mit den höheren Werten der Luftzuführung keinerlei Keimfähigkeitsminderung eintrat. Anscheinend reichte

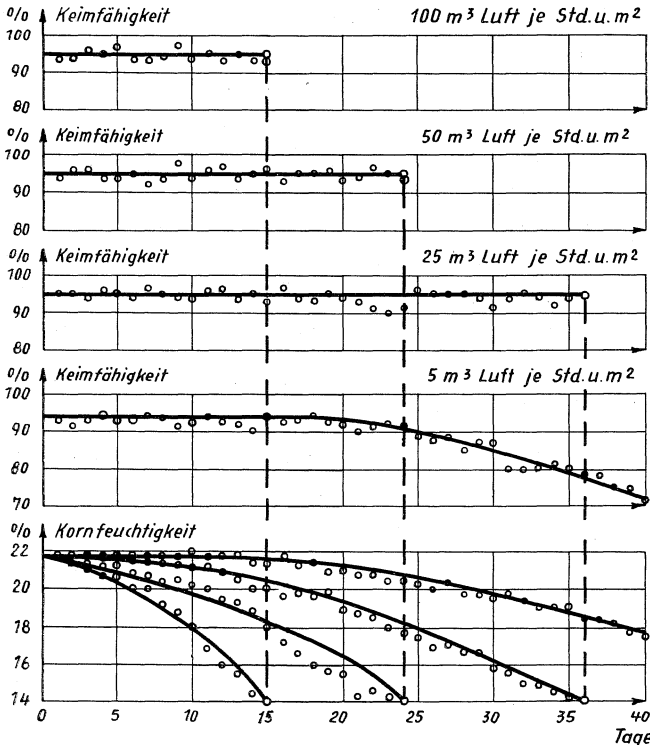


Abb. 4: Verhalten von feucht eingelagertem Hafer bei verschieden hoher Luftmenge (eingeblasene Luft durchschn. 13° C und 63% rel. Luftfeuchte)

schon die konservierende Wirkung bei 25 m<sup>3</sup> Luft je Stunde und m<sup>2</sup> aus, um ein Schlechtwerden des Getreides zu verhindern. Die ebenfalls täglich gemessene Kornfeuchtigkeit, die in Abb. 4 unter der Keimfähigkeitskurve aufgetragen ist, zeigt aber, daß das Getreide je nach der Höhe der stündlichen Luftmenge mehr oder weniger schnell trocknete, da die rel. Luftfeuchtigkeit <sup>1)</sup> der eingeblasenen Luft durchschnittlich bei 64 % lag (Durchschnittstemperatur 13° C). Schon bei 25 m<sup>3</sup> Luft je Stunde und m<sup>2</sup> war eine Trocknung erfolgt, bevor der Abfall der Keimfähigkeit einsetzte; die Trocknung konnte also dem Verderben zuvorkommen. Somit trat neben der konservierenden Wirkung durch Frischluftzuführung diejenige der Trocknung ein, wodurch der Zweck des Versuches, den Einfluß verschieden starker Durchlüftung allein als Mittel für eine haltbare Lagerung festzustellen, nicht erreicht werden konnte.

Um dennoch zum Ziel zu kommen und brauchbare Ergebnisse zu erhalten, war es folglich nötig, diese beiden konservierenden Faktoren, nämlich den der Frischluftzuführung und den der Trocknung, voneinander zu trennen, also die Trocknung auszuschalten. Aus diesem Grunde wurde der gleiche Versuch mit denselben Ausgangsbedingungen nochmals in Gang gesetzt. Aber dieses Mal blies lediglich die vom Gebläse angesaugte Luft durch eine zwischengeschaltete Wasservorlage, statt — wie im vorigen Versuch — direkt in die Getreidebehälter. Hierdurch wurde die in das Getreide eintretende Luft vorher auf durchschnittlich 95 % rel. Luftfeuchtigkeit gebracht, die etwa im Feuchtigkeitsgleichgewicht mit Korn von 22 % Wassergehalt steht (vgl. w. u. S. 27). Eine Trocknung konnte nun nicht mehr erfolgen. Die durchschnittliche Temperatur der eingeblasenen Luft betrug 15° C.

Den Verlauf der bei diesem Versuch gemessenen Keimfähigkeitswerte stellt Abb. 5 dar. Der Vergleich der Kurven läßt deutlich eine steigende konservierende Wirkung bei stärkerer Luftmenge je Stunde erkennen. Während bei gleichbleibendem Wassergehalt das Getreide des mit einer geringeren stündlichen Luftumwälzung beschickten Behälters schneller verdarb, blieb solches mit jeweils größerer Lufterneuerung länger gesund. Allerdings konnte auf die Dauer selbst die größte in dem Versuch verwendete Luftmenge das Getreide nicht vor dem Schlechtwerden retten. Ob dies dagegen eine extrem hohe Luftmenge je Stunde vermag, soll dahingestellt bleiben. Auf jeden Fall ist durch diesen letzten Versuch ganz klar der Beweis erbracht, daß mit steigender Frischluftzuführung zwar kein Verhindern, wohl aber ein Hin-ausschieben des Verderbens erfolgt, auch dann, wenn bei hoher Luftfeuchtigkeit keine Trocknung möglich ist.

---

1) Siehe Anhang 2.



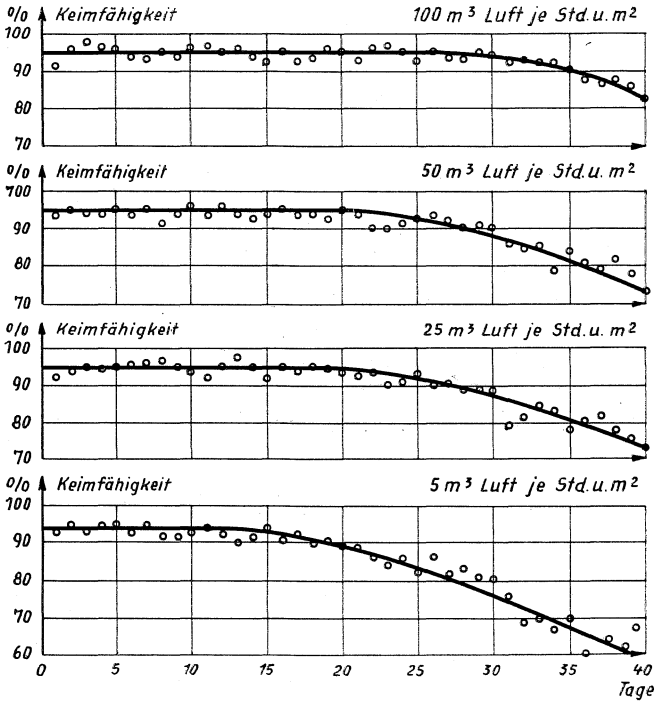


Abb. 5: Verhalten von feucht eingelagertem Hafer bei verschieden hoher Luftmenge (eingelassene Luft durchschn. 15° C und 95% rel. Luftfeuchtigkeit)

## B. Wirkung der Temperatur

Weiterhin muß angenommen werden, daß die Haltbarkeit des feucht eingelagerten Getreides von der verschiedenen hohen Temperatur der Belüftungsluft abhängig ist; denn mit fallender Temperatur sinkt die Lebenstätigkeit der Organismen, bis schließlich keine biologischen Umsetzungen mehr erfolgen können. So fällt auch bis ungefähr  $5^{\circ}$  C die Intensität der Getreideatmung auf einen sehr minimalen Wert ab.

Wird nun mit Hilfe des Gebläses ein Luftstrom im Getreide erzeugt, so stellt sich dieses nach dem Durchblasen einer bestimmten Windmenge auf die der durchgeströmten Luft entsprechenden Temperatur ein. Fördert also der Ventilator kühle Außenluft in einen Kornstock, so kühlt sich dieser nach einer gewissen Zeit ab. Die zur Kühlung benötigte Luftmenge läßt sich aus der jeweiligen spezifischen Wärme errechnen. So ist zur Angleichung der Getreide-temperatur an die Lufttemperatur theoretisch eine Luftmenge von etwa  $175 \text{ m}^3$  je dz Getreide erforderlich. Hierbei ist ein  $\text{m}^3$  Luft mit 1,2 kg berechnet und eine spezifische Wärme für Getreide von 0,5 kcal/kg und für Luft von 0,24 kcal/kg zugrunde gelegt<sup>1)</sup>.

Diese Möglichkeit, die Getreidewärme mittels Luft abzuführen, hat neben der Herunterkühlung außerdem den Vorteil, daß bei fortwährender Belüftung die Temperatur des Getreides nie nennenswert über die der Außenluft ansteigen kann. Dadurch wird die durch Atmung oder von vegetativ-feuchtem Korn erzeugte Wärme abgeleitet, die somit ihrerseits keine Steigerung der Atmung mehr hervorrufen kann.

Da aber bei diesem Verfahren — Abkühlung und Kühllhaltung des Getreides mittels Gebläse — nicht jede beliebige Lagertemperatur zu erreichen ist, diese vielmehr vollständig von der herrschenden Witterung abhängt, ist die Frage sehr entscheidend, unter welcher Temperaturgrenze sich feuchtes Korn haltbar aufbewahren läßt, und welchen Einfluß die verschiedenen hohen Lagerungstemperaturen überhaupt auf das Schlechtwerden des Getreides im Luftstrom ausüben. Bisher ist nur die Tatsache bekannt, daß feuchtes Korn um so langsamer verdirbt, je kälter es ist und umgekehrt. Genauere Angaben über die Zeitdauer, während der Getreide von bestimmter Feuchtigkeit bei verschieden hoher Temperatur gesund bleibt, fehlen dagegen gänzlich. Die Versuchsergebnisse von Abb. 4 und 5 gelten nur für die zufällig vorhandene Temperatur der Belüftungsluft. Es ist aber anzunehmen, daß bei kühlerer Temperatur ein weiteres Hinausschieben des Punktes erfolgt, an dem das Schlechtwerden beginnt.

---

<sup>1)</sup> Siehe: K. Mohs, a. a. O. Er gibt eine spezifische Wärme von 0,5 kcal je kg Getreide von 20 % Wassergehalt an. — Ferner: H. Nuret, „La ventilation du grain“. Aus: Compte rendu de la journée préparatoire d'étude sur le séchage, Paris 1952, édité par l'Association Générale des Producteurs de Blé et autres Céréales, 18. Rue des Pyramides, Paris.

Aus diesem Grunde laufen neue Untersuchungen mit dem Ziel, die Haltbarkeit verschieden feuchten Kornes bei der Belüftung mit unterschiedlichen Lufttemperaturen zu prüfen. Die Notwendigkeit derartiger Versuche wird hauptsächlich dadurch unterstrichen, daß das Prinzip der Kühlkonservierung mittels Luftstrom eine besondere Bedeutung und ein Anreiz für die landwirtschaftliche Praxis erlangen kann; denn zu ihrer Durchführung wird nur ein verhältnismäßig geringer Aufwand an Investitionen und Energie benötigt, der möglicherweise unter dem für eine Trocknung liegt. Allerdings ist dieses Verfahren an das Vorhandensein entsprechend kühler Außenluft, unter Umständen durch Ausnutzung einiger kühler Nächte, gebunden, also an Gegenden mit spätem Erntetermin und kühlem Klima. Fernerhin eignet es sich nicht zur Dauerlagerung, sondern wird auf die Zeit des Winters beschränkt bleiben, da ein weiteres Kühlhalten des Getreides im Frühjahr wohl schwerlich erreicht werden kann. Dazu stellt sich dann beim Belüften mit Luft, die wärmer als das Getreide ist, eine Steigerung seiner Feuchtigkeit und daher ein schnelles Verderben ein. Diese Begrenzung der Kühlkonservierungsmethode auf die kalte Jahreszeit scheint indessen für ihre Anwendung in der Praxis vielfach kein Hinderungsgrund zu sein, da bis zum Frühjahr sowieso das meiste Futtergetreide in den Tiermagen gewandert ist und feuchtes Brotgetreide nach dem saisonmäßigen Ansturm an die Trockneereien der Lagerhäuser inzwischen verkauft sein kann.

Als Resultat dieser Betrachtungen kann somit zusammengefaßt werden, daß die konservierende Wirkung der Frischluftzuführung einmal durch die von der Luft auf das Getreide übertragene Temperatur beeinflusst wird, daß sie aber zum anderen auch von der verschiedenen hohen Luftmenge je Stunde abhängig ist. Neben diesen beiden, beim Belüften des Getreides auftretenden Einwirkungen spielt aber die Trocknung des feucht eingelagerten Kornes mittels Luftstrom als Konservierungsverfahren eine weit größere Rolle. Hierauf soll deshalb im nächsten Abschnitt näher eingegangen werden.

## IV. Getreidetrocknung durch Belüftung

Beim Durchblasen und Trocknen des Getreides mit Luft treten rein physikalische Vorgänge auf, die einer besonderen Erörterung bedürfen. Deshalb soll, bevor die Bedingungen näher geschildert werden, die durch die Wirkung des Luftstromes in einer ganzen Kornsäule herrschen, zunächst auf diese physikalischen Grundvorgänge eingegangen werden, denen das einzelne Getreidekorn bei der Umspülung von Luft ausgesetzt ist.

### A. Allgemeine Voraussetzungen

#### *a. Feuchtheitsaustausch zwischen Korn und Luft*

Als wichtigste Eigenschaft des Getreides ist sein hygroskopisches Verhalten zu nennen; das heißt, das Korn vermag bei der Berührung mit Luft von bestimmtem Feuchtigkeitsgrad Wasser aufzunehmen oder abzugeben. Wird feuchtes Getreide von trockener Luft umgeben, besteht ein gewisses Feuchtigkeitsgefälle und das Getreide trocknet. Im umgekehrten Falle tritt das Gegenteil ein. Ein Wasseraustausch erfolgt so lange, bis keinerlei Gefälle mehr zwischen Korn und Luft besteht, bis also ein Feuchtigkeitsausgleich eingetreten ist. Dieser Zustand wird als Gleichgewicht bezeichnet.

Jeder rel. Feuchtigkeitspunkt der Luft entspricht nun ein bestimmter Gleichgewichtspunkt im Wassergehalt des Getreides. Die Werte einer solchen Gleichgewichtslinie<sup>1)</sup> sind in Abb. 6 dargestellt. Sind Luft- und Kornfeuchtigkeit nicht im Gleichgewicht, erfolgt entweder eine Trocknung oder Anfeuchtung des Getreides, und zwar bis zu dem Wassergehalt, der der herrschenden Luftfeuchtigkeit gleichkommt. Hieraus ergibt sich eindeutig die Tatsache, daß bei einer Luft mit bestimmter rel. Feuchtigkeit nur bis zum Gleichgewichtspunkt getrocknet werden kann. Eine Luft von 65 % rel. Luftfeuchtigkeit trocknet also nasses Getreide bis zu 14 % Wassergehalt, dagegen bei 85 % rel. Luftfeuchtigkeit nur bis 18 % Wassergehalt.

---

<sup>1)</sup> nach K. Seidel, in K. Mohs, a. a. O.

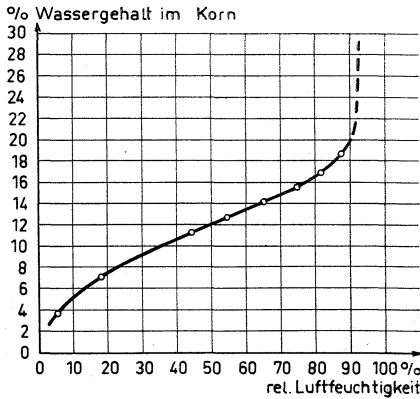


Abb. 6: Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen Luft (20° C) und Getreide (Roggen), nach Seidel

Nach der Ansicht verschiedener Autoren ist bei gleicher rel. Luftfeuchtigkeit der Gleichgewichtswert der Kornfeuchtigkeit außerdem noch von der Temperatur abhängig<sup>1)</sup>. Ihr Einfluß ist, wie aus Abb. 7 ersichtlich, zwar nicht sehr bedeutend, muß aber für genaue Berechnungen des Trocknungsvorganges berücksichtigt werden. Einfachheitshalber soll jedoch im wei-

1) J. J. I. Sprenger, Metingen van Dampdrukisothermen van Tarwe, Drooglaboratorium, Nr. 10, Wageningen 1951. — F. J. Gay, Some moisture relations of Australian wheats, Journal of the council for scientific and industrial research, Volume 14, Nr. 2, Melbourne 1941. — F. C. Fenton, Storage of grain sorghums, Agricultural Engineering, vol 22, no 5, May 1941.

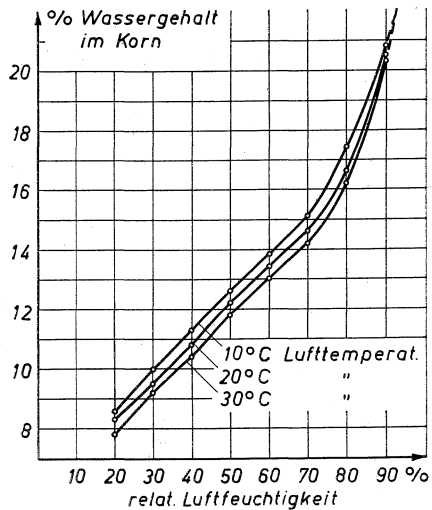


Abb. 7: Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen Luft und Getreide (Weizen) in Abhängigkeit von der Temperatur, nach Sprenger

teren Verlauf der Arbeit auf die Temperatur in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen werden. Ferner wird von einigen Forschern auf die unterschiedliche Einspielung des Wassergehaltes des Getreides auf eine vorhandene rel. Luftfeuchtigkeit hingewiesen. Es sollen sich zwei verschiedene Gleichgewichtspunkte ergeben, zwar einmal, wenn feuchtes Getreide sich auf eine niedrige Luftfeuchte einstellen muß, zum anderen, wenn trockenes Korn sich einer höheren rel. Luftfeuchtigkeit anpaßt. Diese auftretende Differenz der Gleichgewichtspunkte wird als Hysteresis bezeichnet <sup>1)</sup>. Ihr Vorhandensein wird aber von anderen Autoren wiederum geleugnet.

Leider ist jedoch die Gleichgewichtskurve nicht nur mit diesen Abweichungen behaftet, sondern weist bei den einzelnen Forschern zum Teil sehr unterschiedliche Werte und verschiedenen Verlauf auf. In Abb. 8 sind Gleichgewichtskurven von mehreren Wissenschaftlern <sup>2)</sup> übereinander gezeichnet. Die großen Streuungen erklären sich nur teilweise durch die verschiedenen Getreidearten und -sorten, hauptsächlich aber wohl durch unterschiedliche Untersuchungsmethoden.

Daß bei dieser Streubreite der Gleichgewichtswerte eine annähernd genaue Berechnung und Steuerung des Trocknungsvorganges unmöglich ist, kann kaum verwundern. Daher wird eine exakte Untersuchung dieses Feuchtigkeitsgleichgewichtes zwischen Luft und Getreide für deutsche Kornarten und -sorten augenblicklich durchgeführt. Dabei werden diese Gleichgewichtswerte nicht wie bei den bisher vorliegenden Ergebnissen in ruhender Luft, sondern im Hinblick auf ihre Verwendung im Luftstrom ermittelt. Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit wird jedoch zur Vereinfachung, und um die oben geschilderten Abweichungen auszuschalten, die in Abb. 6 dargestellte Beispielkurve mit ihren Gleichgewichtswerten zugrunde gelegt.

Wie schon geschildert, ist Voraussetzung für das Abtrocknen des Kornes ein Gefälle zwischen Luft- und Getreidefeuchtigkeit. Es darf also kein Gleichgewicht bestehen. Grundsätzlich hängt nun bei einem gegebenen Zustand der Luft und des Kornes — statisch betrachtet — das Hinstreben zum Gleichgewicht von zwei Faktoren ab, nämlich von der Wasseraufnahmefähigkeit der Luft und von der Wasserabgabe des Kornes.

Das Wasserabgabevermögen des einzelnen Getreidekornes ist sehr unterschiedlich: Bei nassem Getreide kann die Diffusion des Wasser-

---

1) Der Einfluß der Hysteresis kann 0,5 bis 1% Wassergehalt ausmachen, nach: M. J. Buré: „La vie des grain“, aus: Compte rendu de la journée préparatoire d'étude sur le séchage, Paris 1952, édité par l'Association Générale des Producteurs de Blé et autres Céréales, 18. Rue des Pyramides, Paris.

2) K. Seidel, in K. Mohs, a. a. O. — J. J. I. Sprenger, a. a. O. — Coleman u. Fellows, Hygroscopic moisture in cereal grains. Cereal Chem. vol. II pp. 275—278, Sept. 1925, aus: B. M. Stahl, Engineering Data on Grain Storage, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph. Michigan, May 1948. — F. J. Gay, a. a. O. — R. Legendre, Les Céréales, Collection Armand Colin, Paris, Nr. 177, 1935. Aus: G. Malcorps, La moissonneuse-batteuse, ses possibilités d'utilisation en Belgique. Aus: „Agrikultura“, août 1947, juillet 1948, Louvain. — L. Pap (1934) u. a. m. aus: T. A. Oxley, The Scientific Principles of Grain Storage, The Northern Publishing Co. LTD. Liverpool 1948.

dampfes vom Korn zur Luft leicht stattfinden. Bei über etwa 22 % Feuchtigkeit besitzt es nämlich kaum mehr hygroskopische Kraft — es ist als feucht zu bezeichnen — und vermag infolgedessen das Wasser gut abzugeben. Die Verdunstung erfolgt hier entsprechend der von freiem Wasser. Liegt dagegen die Getreidefeuchtigkeit unter etwa 22 %, dann setzt die wasseranziehende Kraft des Kornes ein, das um so mehr bestrebt ist, sein Wasser festzuhalten, je trockener es ist. Das Getreide setzt der Diffusion des Wasserdampfes wachsenden Widerstand entgegen, da seine Saugkräfte mit fallender Kornfeuchtigkeit ansteigen. Außerdem muß das Wasser immer mehr aus der Mitte des

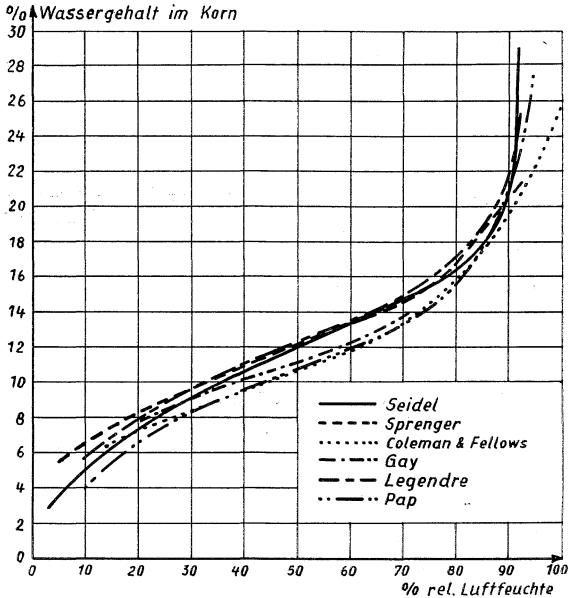


Abb. 8: Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen Luft und Getreide, nach verschiedenen Forschern

Kornes durch Zellwände und Poren an die Oberfläche befördert werden, wozu in steigendem Maße Energie und Zeit benötigt wird. Somit ist der Wasserentzug bei feuchtem Getreide bedeutend leichter als bei trockenem.

Neben dem Wasserabgabevermögen des Kornes spielt aber auch die Wasseraufnahmefähigkeit der Luft eine entscheidende Rolle. Ihr Sättigungsvermögen richtet sich erstens nach dem Gefälle der rel. Luftfeuchtigkeit zwischen der Trocknungsluft und derjenigen, die der Getreidefeuchtigkeit laut Gleichgewicht entspricht. Somit steigt — wie aus den Abb. 6—8 zu erkennen — das Wasseraufnahmevermögen der

Luft mit sinkender rel. Luftfeuchte der Trocknungsluft und mit zunehmendem Wassergehalt des Getreides. Die Kornfeuchtigkeit besitzt aber infolge des Verlaufes der Gleichgewichtskurve einen unterschiedlichen Einfluß; während in dem Bereich von weniger als etwa 20 % Wassergehalt die Getreidefeuchtigkeit für die Wassersättigung der Luft von großer Bedeutung ist, spielt dagegen ein höherer Wassergehalt als 20 % keine wesentliche Rolle mehr. Dies sei an einem Beispiel näher erläutert. Die rel. Luftfeuchtigkeit der Trocknungsluft betrage 40 %, die Getreidefeuchtigkeit einmal 15 %, zum anderen 20 % und letztlich 30 %. Im ersten Fall besitzt die Luft ein Gefälle von 40 % bis 70 %, also von 30 % rel. Luftfeuchtigkeit, im zweiten Fall dagegen eines von 40 % bis 90 %, also von 50 % rel. Luftfeuchtigkeit, aber im dritten Fall auch nur eines von 40 % bis 93 %, also von 53 % rel. Luftfeuchtigkeit. Mithin wird in den beiden letzten Fällen von 20 % und 30 % Kornfeuchtigkeit keine dem höheren Wassergehalt des Getreides entsprechend wesentlich bessere Luftsättigung erreicht.

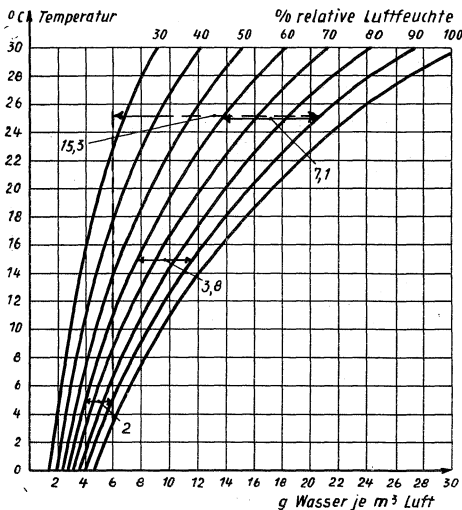


Abb. 9: Wasseraufnahmefähigkeit der Luft in Abhängigkeit von ihrer Temperatur

Außer dem durch die rel. Luftfeuchtigkeit und die Getreidefeuchtigkeit gegebenen Sättigungsgefälle ist das Wasseraufnahmevermögen der Luft zweitens abhängig von ihrer Temperatur. Bei gleicher rel. Feuchtigkeit kann nämlich die Luft je m<sup>3</sup> mit steigender Temperatur mehr Wasser aufnehmen. Aus Abb. 9 gehen diese Zusammenhänge deutlich hervor. Danach benötigt z. B. 1 m<sup>3</sup> Luft (zu 1,2 kg) bei einer gleichbleibenden rel. Luftfeuchtigkeit von 60 % bis zur Sättigung von 90 % bei 5° C 2 g, bei 15° C 3,8 g und bei 25° C sogar 7,1 g Wasser. Die Trocknungsfähigkeit der Luft steigt also bei gleicher rel. Luftfeuchtigkeit mit Zunahme der Temperatur.

Wird dagegen Luft, die keinerlei Trocknungsfähigkeit besitzt, z. B. mit 90 % rel. Luftfeuchtigkeit und 5° C, auf 25° C aufgewärmt, so steigt ihr



Wasseraufnahmevermögen bis 90 % rel. Luftfeuchtigkeit sogar auf 15,3 g, da zusätzlich die rel. Luftfeuchtigkeit automatisch auf 28 % sinkt, wie aus Abb. 9 ersichtlich ist. Aus diesem Zusammenhang geht hervor, daß eine Erhitzung der Trocknungsluft, wie dies bei der Warmlufttrocknung noch stärker als im oben angeführten Beispiel der Fall ist, eine sehr schnelle und scharfe Trocknung zur Folge hat, während die Verwendung von normaler atmosphärischer Luft zur Belüftung des Getreides nur eine langsame Trocknung ergeben kann. Dieser Unterschied zwischen der ausgesprochenen Warmlufttrocknung und derjenigen mittels atmosphärischer Luft führt aber zu vollkommenen andersartigen Betriebsbedingungen.

### *b. Bedeutung der Luftanwärmung*

Voraussetzung für eine wirtschaftliche Trocknung und Erfordernis für eine längere Lagerung ist ein Endwassergehalt von 14 %, nicht höher, aber auch nicht niedriger. Bei höherer Feuchtigkeit ist das Getreide nicht voll lagerfähig; die Trocknung war also ungenügend. Ein schärferes Heruntertrocknen unter 14 % Wassergehalt ist dagegen unzuweckmäßig. Vor allen Dingen bedeutet es eine empfindliche Herabminderung des Verkaufserlöses, da die Vergütung für das übertrocknete Korn nicht den Verlusten entspricht, die durch die Abnahme des Getreidegewichtes und die eigenen Trocknungskosten entstehen. Zwar wäre eventuell an ein Mischen dieses zu trockenen Kornes mit feuchtem zu denken, um dann einen durchschnittlichen Wassergehalt von 14 % zu erreichen. Diese Methode dürfte aber in der bäuerlichen Praxis ausscheiden, da eine einwandfreie Mischung von Getreide nur schwierig durchzuführen ist, selbst wenn bei Silo- oder Behälterlagerung eine Umrieselungsanlage vorhanden wäre. Folglich ist bei jeglicher künstlichen Körnertrocknung möglichst ein Wassergehalt von 14 % für die Dauerlagerung anzustreben.

Bei der Warmlufttrocknung wird nun, ähnlich wie es das letzte Beispiel von Abb. 9 zeigt, das allerdings eine Temperaturerhöhung um nur 20° C veranschaulicht, das Getreidekorn einer Luft ausgesetzt, die eine sehr niedrige rel. Luftfeuchtigkeit besitzt, nach vorigem Beispiel 28 %. Dies entspricht laut Gleichgewicht (siehe Abb. 6) einer Getreidefeuchtigkeit von 9 %. Um aber eine derartige Untertrocknung zu vermeiden, wird das Korn nach einer bestimmten Zeit, nachdem es genau 14 % Wassergehalt erreicht hat, aus dem Luftstrom herausgenommen. Das heißt, daß bei der Warmlufttrocknung, die mit hohen Temperaturen und daher sehr trockener Luft arbeitet, infolge des intensiven Wasserentzuges das Getreide nur so lange mit der Trocknungsluft in Berührung bleibt, bis der richtige Trocknungsgrad erzielt ist. Aus diesem Grunde sind die Warmlufttrockner meistens als Durchlauftrockner ausgebildet, bei denen die Intensität der Trocknung durch die Geschwindigkeit des Getreidedurchflusses geregelt wird.

Demgegenüber bleibt bei der Benutzung der atmosphärischen Luft zur Trocknung, also bei der sogenannten Kaltlufttrocknung, das Getreide bei gleichzeitiger Lagerung ständig im Luftstrom liegen. Dies ist erforderlich, weil nicht jeweils kleine Mengen in kurzer Zeit, sondern große Mengen in längerer Zeit getrocknet werden, was nur in einem entsprechenden Behälter oder Raum möglich ist. Die Luft wird durch einen Teil des Getreides noch weiterhin durchgeblasen, selbst wenn dieses schon längere Zeit auf seinen endgültigen Wassergehalt herabgetrocknet wurde. Hieraus geht klar hervor, daß dieser sich auf den Gleichgewichtswert der rel. Luftfeuchtigkeit der hindurchströmenden Luft einstellen muß. Soll also eine Trocknung bis 14 % Wassergehalt erreicht werden, so muß die rel. Luftfeuchtigkeit etwa 65 % betragen. Liegt sie im Durchschnitt der Belüftungsstunden niedriger, erfolgt eine Untertrocknung, wogegen bei höherer rel. Luftfeuchtigkeit nur ein ungenügender oder ganz geringer Trocknungserfolg zu verzeichnen ist.

So kann in klimatisch ungünstigen Gebieten die normale Außenluft zur Trocknung des feucht eingelagerten Getreides kaum verwandt werden. Um hier dennoch zum Ziel zu gelangen, muß das Klima künstlich aufgebessert werden, indem die zur Trocknung benötigte Luft aufgewärmt wird. Dann hat die Anwärmung der Trocknungsluft gegenüber der Warmlufttrocknung aber nur den einen Zweck, eine Trocknung auf 14 % Wassergehalt überhaupt erst zu ermöglichen, nicht aber die Trocknung zu beschleunigen. So darf hier die Lufterhitzung auch nur um einige wenige Grad, und zwar nur so weit erfolgen, daß die rel. Luftfeuchtigkeit auf ungefähr 65 % absinkt, was einer Getreidefeuchtigkeit von etwa 14 % entspricht (siehe Abb. 6). Eine stärkere Erwärmung würde das vorhin geschilderte ungünstige Untertrocknen zur Folge haben, da ja das Korn lange Zeit im Luftstrom verweilt.

Um wieviel Grad nun die Trocknungsluft bei ungünstigem Klima angewärmt werden muß, um etwa 65 % rel. Luftfeuchtigkeit zu erhalten, geht aus Abb. 10 hervor und soll an Hand von zwei Beispielen näher erklärt werden. Das durchschnittliche Klima betrage  $10^{\circ}$  C und 90 % rel. Luftfeuchtigkeit, unter welchen Bedingungen fast gar keine Trocknung erreicht werden könnte. Sie ist aber trotzdem bis zu 14 % Kornfeuchtigkeit möglich, wenn die Lufttemperatur von  $10^{\circ}$  C um 5 Grad auf  $15^{\circ}$  C erhöht wird, wodurch die rel. Luftfeuchtigkeit von 90 % bis auf 65 % abfällt. In einem weiteren Fall soll der Durchschnittswert des Klimas  $20^{\circ}$  C und 80 % rel. Luftfeuchtigkeit sein. Um dennoch eine genügende Heruntertrocknung bis 14 % Wassergehalt zu erzielen, muß die Luft um etwa 3,5 Grad auf  $23,5^{\circ}$  C angewärmt werden, was dann ebenfalls einer rel. Luftfeuchtigkeit von 65 % entspricht, die als Grenzwert dick in die Abbildung eingezeichnet ist<sup>1)</sup>.

Die für eine Klimaverbesserung nötige Anwärmung der Trocknungsluft darf also bei der Belüftungstrocknung, anders als bei der Warmlufttrocknung, nur um einige wenige Grad erfolgen. Die hierfür aufzuwendende Wärmeenergie

---

1) Als Anhaltspunkt kann gelten:  $2^{\circ}$  C Temperaturerhöhung ergibt in dem in Frage kommenden Bereich ungefähr eine Erniedrigung der rel. Luftfeuchtigkeit um 10 %.

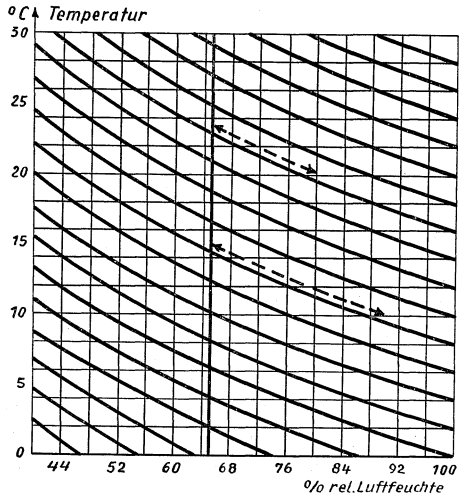


Abb. 10: Temperaturerhöhung der Luft zum Erreichen von 65 % rel. Luftfeuchtigkeit = 14 % Kornfeuchtigkeit

beträgt etwa  $0,3 \text{ kcal je m}^3 \text{ Luft}^1$ ) bei 1 Grad Temperaturerhöhung. Als Wärmequelle kommen verschiedene Heizstoffe in Betracht — wie Elektrizität, Propangas, Diesel- und Heizöl, Stein- und Braunkohle —, die sich allerdings in ihrem Heizwert, ihrer Ausnutzung und ihren Betriebskosten sehr unterschiedlich verhalten. Außerdem kann eine geringe Temperaturerhöhung der Trocknungsluft um etwa 1 bis 2 Grad Celsius schon durch die Reibungsarbeit im Gebläse erzeugt werden, besonders dann, wenn dieses mit schlechtem Wirkungsgrad läuft. In diesem Zusammenhang ist ferner zu erwähnen, daß an Stelle des Elektromotors ein Verbrennungsmotor eingesetzt werden kann, dessen Abwärme zur Temperatursteigerung der Belüftungsluft dienen könnte und so die nötigen Wärmeeinheiten liefern würde<sup>2)</sup>.

Ist also die Erwärmung der Luft bei der Belüftungstrocknung nur zur Erzielung einer genügend niedrigen rel. Luftfeuchtigkeit angebracht, so hat bei der Warmlufttrocknung die Temperaturerhöhung vor allem den Sinn, das Wasseraufnahmevermögen der Luft zu steigern, wie in Abb. 9 gezeigt wurde. Für dessen Berechnung ist aber neben der Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit noch zu beachten, daß die Luft sich mit der Feuchtigkeitsaufnahme gleichzeitig abkühlt und dadurch ihr volles Sättigungsgefälle nicht aufrecht erhalten kann. Es tritt Verdunstungskälte auf, weil der Wärmeinhalt der Luft bei Wasseraufnahme und auch -abgabe stets gleichbleiben muß, sofern keine Zu- oder Abfuhr von Wärme erfolgt. Hierdurch kann die Luft für eine Sättigung von 60 % bis 90 % rel. Luftfeuchtigkeit nicht die in Abb. 9 angegebenen Werte, sondern nur weniger an Wasser auf-

1) Die spez. Wärme der Luft beträgt  $0,24 \text{ kcal/kg}$ ; ein  $\text{m}^3$  Luft wiegt etwa  $1,2 \text{ kg}$ .

2) NIAE Technical Memorandum NO. 13/C/141/WFW: Utilization of waste heat from a Diesel engine in a ventilated bin installation, Silsoe Wrest Park 1949.

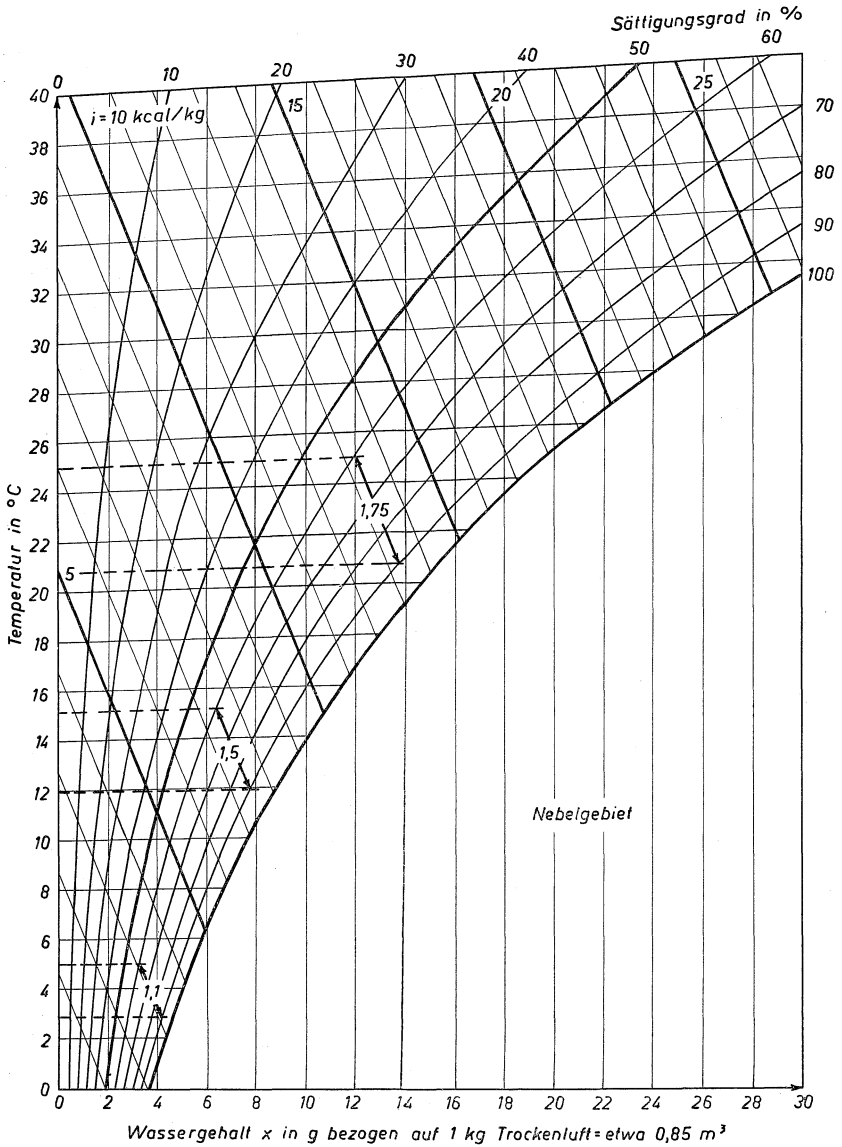


Abb. 11: Mollier IX-Diagramm für Luft bei 760 mm QS 1)

1) aus: H. R i e t s c h e l, Lehrbuch der Heiz- und Lüftungstechnik. Verlag Springer. Berlin, 1950.

nehmen, und zwar bei 5° C nur 1,3 g, bei 15° C nur 1,8 g und bei 25° C nur 2,1 g. Wenn im umgekehrten Fall die Luft Wasser abgibt, tritt Kondensationswärme auf. Dieses Zusammenspiel zwischen Luftfeuchtigkeit und -temperatur ist in seiner Gesetzmäßigkeit im IX - Diagramm in Abb. 11 wiedergegeben<sup>1)</sup>. Neben den Kurven von Abb. 9 sind diejenigen gleichen Wärmeinhaltes eingezeichnet, die für den Trocknungsverlauf, entsprechend den drei Beispielen, maßgebend sind. Das IX-Diagramm ist somit neben der Gleichgewichtskurve für jede Berechnung des Trocknungsvorganges und seiner Zusammenhänge von grundlegender Bedeutung.

### c. Verlauf und Schnelligkeit der Trocknung

Die vorhin geschilderten Einflüsse der Diffusion und des Sättigungsvermögens der Luft bleiben jedoch bei fortschreitender Trocknung, also dynamisch gesehen, in ihrer Stärke nicht erhalten. Sie sinken oder wachsen in ihrer Wirkung vom Anfangs- bis zum Endzustand der Trocknung, also bis zur Annäherung an den Gleichgewichtspunkt. Das Wassersättigungsgefälle der Luft muß nämlich mit Abnahme der Kornfeuchtigkeit laut Gleichgewicht ebenfalls abnehmen, während die wasserfesthaltende Kraft des Kornes ständig zunimmt. Aus Abb. 12 geht der Trocknungsverlauf bei voll-

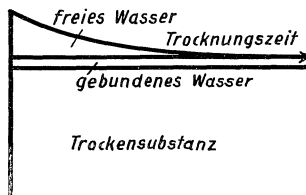


Abb. 12: Verlauf der Trocknung beim Entzug sämtlicher Getreidefeuchtigkeit (Wassergehaltsbestimmung), schematische Darstellung

ständig wasserfreier Luft hervor. Hierbei wird dem Getreide sämtliches freie, d. h. nicht hygroscopische Wasser wie bei einer Wassergehaltsbestimmung entzogen. Zu Beginn der Trocknung erfolgt eine schnelle Wasserabnahme, die aber mit zunehmendem Schwinden der Kornfeuchtigkeit langsamer wird, bis die Wassergehaltskurve sich allmählich asymptotisch dem Nullpunkt nähert. Ähnlich verläuft die Trocknung bei jeder gegebenen rel. Luftfeuchtigkeit zuerst schnell, dann immer langsamer bis zu dem ihr entsprechenden Gleichgewichtswert des Getreidewassergehaltes.

Für die Schnelligkeit der Trocknung des einzelnen Kornes ist nun die je Zeiteinheit entzogene Wassermenge entscheidend. Während eine

1) Bei diesem IX-Diagramm ist der Wassergehalt der Luft nicht auf 1 m<sup>3</sup> Luft, sondern auf 1 kg Luft bezogen. Da bisher immer mit m<sup>3</sup> Luft gerechnet wurde, müssen die angegebenen Werte mit 1,2 multipliziert werden (1 m<sup>3</sup> Luft wiegt ungefähr 1,2 kg). So ist Luft von 15° C bei einem Anstieg ihrer rel. Luftfeuchte von 60 % auf 90 % höchstens in der Lage, 1,5 g Wasser je kg Luft aufzunehmen, da hierbei ihre Temperatur infolge Verdunstungskälte um 3° auf 12° C abfällt (und nicht wie in Abb. 9 die 15° C beibehält). Diese 1,5 g Wasseraufnahme je kg Luft entsprechen 1,8 g Wasser je m<sup>3</sup> Luft (1,5 x 1,2). Genau so errechnen sich die Werte bei 5° C von 1,1 g Wasser/kg Luft auf 1,3 g Wasser/m<sup>3</sup> Luft und bei 25° C von 1,75 g Wasser/kg Luft auf 2,1 g Wasser/m<sup>3</sup> Luft.

Wasserabnahme des Kornes überhaupt erst durch ein Feuchtigkeitsgefälle zwischen Luft und Getreide erreichbar wird, muß für eine denkbar schnelle Trocknung das volle mögliche Sättigungsgefälle erhalten bleiben. Befindet sich aber das Getreidekorn in ruhender Luft, wird es um sich herum eine Hülle von mit Wasserdampf angereicherter Luft bilden, so daß in Wirklichkeit das Feuchtigkeitsgefälle geringer und die sonst mögliche Diffusion gehemmt ist. Das erklärt auch die Tatsache, warum sich Getreide in ruhender Luft mit bestimmter rel. Feuchtigkeit erst nach einigen Tagen oder Wochen auf den Endwert des Gleichgewichtes einstellt. Wird dagegen der aus dem Getreide austretende Wasserdampf sofort abgeführt, was durch genügende Erneuerung der Luft oder auch durch Schaffung eines Vakuums geschehen kann, bleibt nahezu das volle Sättigungsgefälle erhalten. Dadurch kann dann mehr Wasser je Zeit entzogen werden. Also ist bei bewegter Luft ein schnellerer Trocknungserfolg zu erzielen als bei ruhender Luft.

Im Gegensatz zu dieser Forderung nach Aufrechterhaltung des vollen Sättigungsvermögens der Luft zur Erreichung einer möglichst schnellen Trocknung steht aber die schlechte Ausnutzung ihres Trocknungspotentials. Sie kann ja bei einer Einzelkornschicht oder einer kleineren Schichthöhe nur sehr geringe Feuchtigkeitsmengen aufnehmen, da das Wasser infolge der Widerstände im Korn nicht so schnell nachgeliefert wird. Aus diesem Grunde schlägt Edholm<sup>1)</sup> nach eingehenden Untersuchungen ein abstütziges Belüften vor, bei dem nach kurzer Lüftungszeit eine längere Ruhepause eingeschoben wird, damit innerhalb des Kornes ein Feuchtigkeitsausgleich erfolgen kann. Hierbei sollen die in Schalenhöhe befindlichen Kornschichten wiederum entsprechend der Getreidefeuchtigkeit mit Wasser angereichert sein, so daß für die folgende Belüftungsperiode die Wasserdampfdiffusion erleichtert sei. Trotzdem ist auch bei diesem Verfahren nur eine schlechte Ausnutzung des Wasseraufnahmevermögens der Luft gewährleistet.

Soll dagegen das Trocknungspotential der Luft voll nutzbar sein, muß ihr Gelegenheit gegeben werden, sich beim Vorbeistreichen am feuchten Korn bis zur möglichen Sättigung mit Wasserdampf aufzuladen. Das kann aber nur erreicht werden, wenn eine intensivere Berührung der Luft mit dem Getreide gewährleistet ist, wenn also der Weg der Luft durch die Getreideschicht nicht wie bei der Einzelkornlage nur sehr gering, sondern durch Vergrößerung der Getreideschichthöhe verlängert ist. Mit dem Übergang zur höheren Kornschicht allein kann eine vollständige Ausnutzung des Trocknungspotentials der Luft möglich sein, da sie sich nun infolge ihrer turbulenten Strömung zwischen den einzelnen Körnern länger und intensiver mit ihnen im Wasseraustausch befindet.

Um die Zusammenhänge, die bei der Trocknung mittels Belüftung in höheren Getreideschichten auftreten, zu untersuchen, wurden drei Jahre hindurch Versuche durchgeführt, die im folgenden mit ihren Ergebnissen näher besprochen werden sollen.

---

1) H. Edholm, Undersökningar angående torkning av spannmål, Uppsala 1932, Almqvist & Wiksells Boktryckeri —A.—B.

## B. Vorgang in der Kornsäule

### a. Versuchsanstellung

Die in der Ernte 1950, 1951 und 1952 durchgeführten Versuche galten hauptsächlich der Erforschung des Trocknungsvorganges im Getreidestock. Zu diesem Zweck wurde eine ganze Anlage von Versuchssilos erstellt, deren einzelner schematischer Aufbau aus Abb. 13 hervorgeht.

Als Silomantel wurden Gebläserohre von 60 cm Durchmesser und 3 oder 6 m Länge verwandt. Ähnlich, wie es Abb. 2 zeigt, lagerte das Getreide auf einem Siebboden, durch den die Luft aus einer Druckkammer in die Kornsäule eintreten und senkrecht durch dieselbe nach oben hin entweichen konnte. In einem jeweiligen Abstand von 50 cm vom Siebboden bis zur Silooberkante ragten schräg bis in die Behältermitte Rohre, die sowohl eine Entnahme von Getreideproben wie auch eine Ableitung der Luft zur Messung der Temperatur und der rel. Luftfeuchtigkeit gestatteten. Die Außenwand der Silos war zur guten Wärmeisolation mit Glaswolle umhüllt (Abb. 14), um dadurch

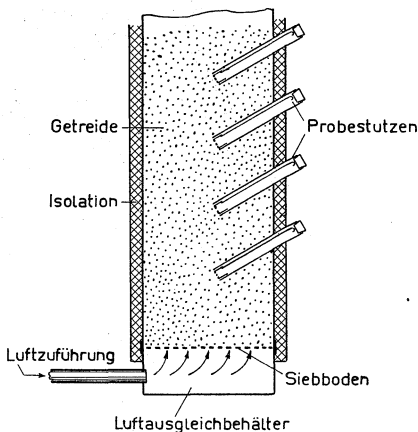


Abb. 13: Schematischer Aufbau eines Versuchssilos

ähnliche Bedingungen zu schaffen, wie sie in einem Behälter von großem Durchmesser herrschen. Zur Luftförderung dienten mehrere Ventilatoren, die die Luft von außerhalb des Raumes, also aus dem Freien ansaugten und in eine Sammelleitung drückten, von der aus zu jedem Silo eine Abzweigung führte (Abb. 15).

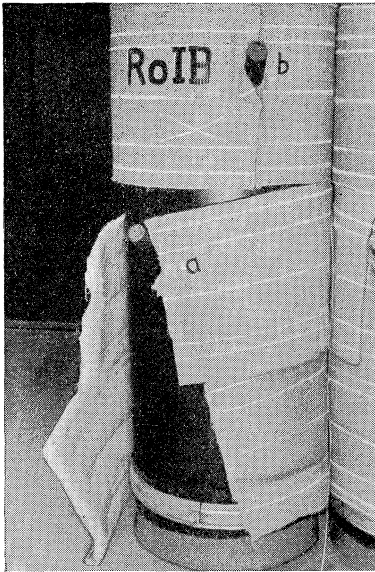


Abb. 14: Isolation der Versuchssilos mit Glaswolle

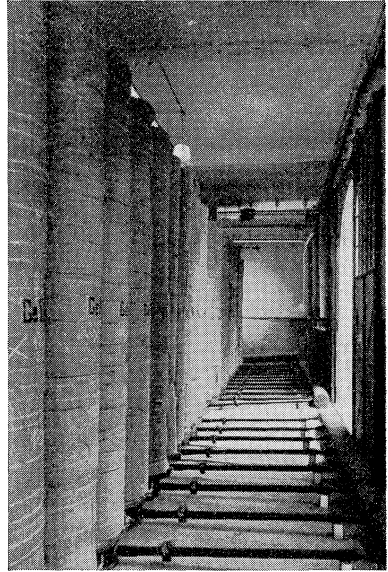


Abb. 15: Luftsammelleitung und Abzweigungen zu den Versuchssilos

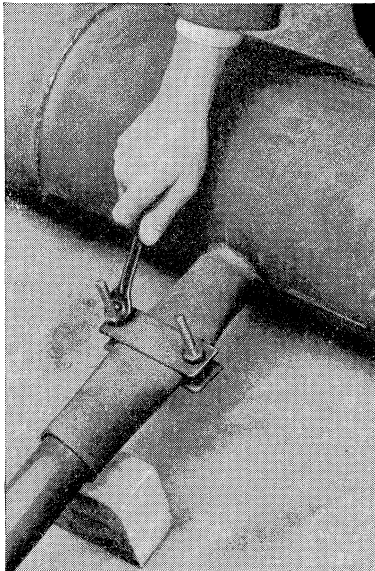


Abb. 16: Schlauchklemme zur Einregulierung der Luftmenge

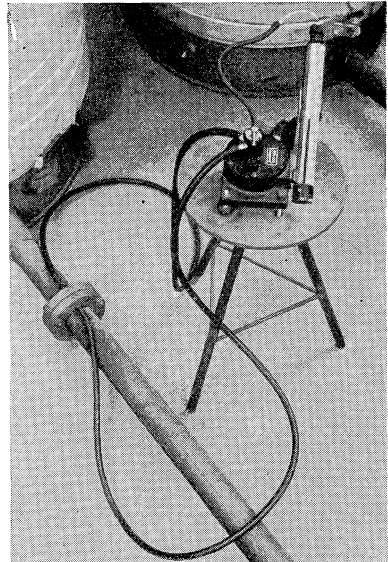


Abb. 17: Messung der Luftmenge mit Staubkappe und Mikromanometer



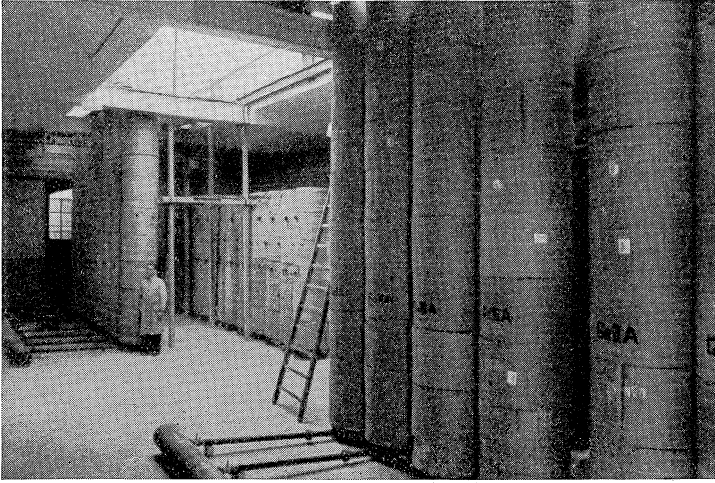


Abb. 18: Teilansicht der Versuchsanlage

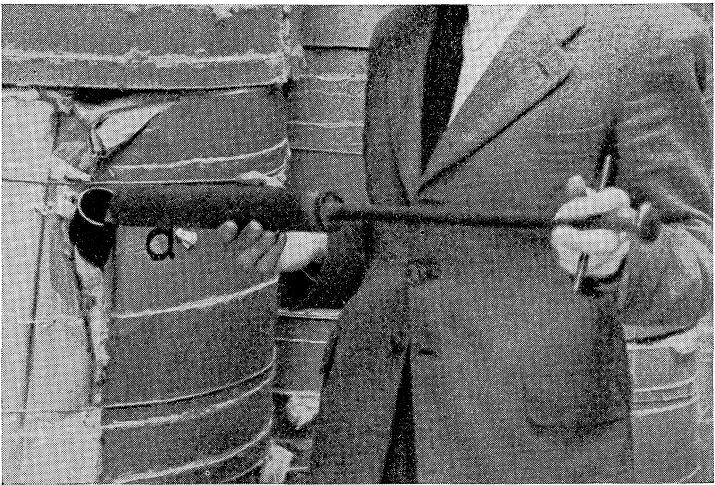


Abb. 19: Entnahme von Kornproben aus der Silomitte

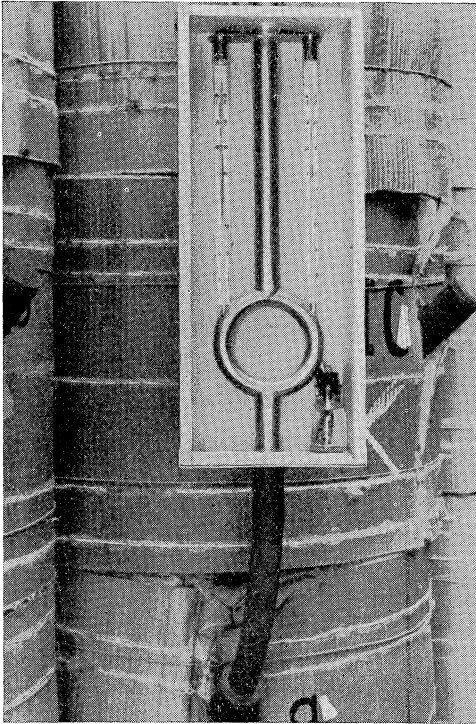


Abb. 20: Messung der Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit der aus der Silomitte abgeführten Luft mittels Psychrometers

In diesem war eine Schlauchklemme zur Einregulierung der Luftmenge (Abb. 16) eingebaut. Die Luftmengenmessung erfolgte mittels einmontierter Staublenden und Flüssigkeitsmikromanometer (Abb. 17). Abb. 18 gibt eine Teilansicht der 1951 aufgebauten Anlage wieder.

Neben der Einregulierung der vorher festgelegten Luftmenge erfolgte bei sämtlichen Silos täglich einmal die Entnahme von Kornproben (Abb 19) aus allen Lagerhöhen in jeweils 50 cm Abstand, um die Keimfähigkeit und den Wassergehalt des Getreides zu untersuchen. Ferner wurden an den gleichen Stellen mindestens viermal am Tag die Temperatur und die rel. Luftfeuchtigkeit der durch das Getreide geblasenen Luft gemessen. Hierzu wurde sie mittels der Probestutzen aus der Silomitte nach außen in selbst angefertigte Psychrometer geleitet (Abb. 20), die ein Ablesen der Temperatur und Ausrechnen der rel. Luftfeuchtigkeit gestatteten.

Die Untersuchungen wurden an den vier Getreidearten Gerste, Roggen, Weizen und Hafer vorgenommen, deren Anfangswassergehalt mit je 18, 22 und 26 % festlag. Außerdem mußte die Wirkung verschieden großer Luftmengen bei sonst gleichen Bedingungen untersucht werden, so daß für jede Getreideart und jede der drei verschiedenen Anfangsfeuchtigkeiten noch drei unterschied-

lich hohe Luftmengen eingesetzt wurden. Hieraus ergab sich eine Zahl von 36 Versuchssilos, neben denen aber noch weitere für Sonderuntersuchungen erstellt wurden, auf die später eingegangen werden soll.

Aus der Vielzahl der nach Abschluß der Versuche vorliegenden Ergebnisse sollen im folgenden nur die grundsätzlichen Vorgänge und Bedingungen geschildert werden, die bei der Trocknung des feuchten Getreides im Kornstock mittels atmosphärischer Luft auftreten. Zunächst seien die physikalischen Einwirkungen und besonders der Verlauf der Trocknung erörtert, wie sie in einem Silo vor sich gehen.

### *b. Wanderung der Getreidefeuchtigkeit, Luftfeuchtigkeit und Temperatur*

Als Beispiel soll ein 3 m hoher Silo dienen, der mit Getreide von 22 % Feuchtigkeit gefüllt ist. Mit Beginn der Belüftung setzt bei entsprechend niedriger rel. Luftfeuchtigkeit eine *Trocknung* ein, und zwar *zuerst* an der Eintrittsstelle der Luft in das Getreide, bei einem von unten her belüfteten Silo also *unten*. Die Luft belädt sich hier schnell mit der vom Korn abgegebenen Feuchtigkeit, so daß die unterste Getreideschicht zuerst trocknet. Auf ihrem weiteren Weg nach oben verliert die Luft sehr schnell an trocknender Wirkung, da sich ihr Feuchtigkeitsgefälle infolge der Wasseraufnahme verringert, bis sie schließlich im Gleichgewicht mit dem feuchten Getreide weiter durch den Kornstock zieht und ihn verläßt, ohne in den oberen Schichten noch eine wesentliche Trocknung zu erreichen. Da nun laufend trocknungsfähige Luft von unten nachgeliefert wird, tritt nach einiger Zeit der Zustand ein, daß sich die unterste Getreideschicht auf das Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen Frischluft und Getreide einstellt, letzteres also entsprechend herabgetrocknet ist (z. B. auf 14 % Wassergehalt des Getreides). In der etwas darüber befindlichen Kornschicht hat die Luft auch schon getrocknet, da sie ja nach Verlassen der ersten Schicht noch ein entsprechendes Feuchtigkeitsgefälle besaß; aber gegenüber dieser muß sie noch etwas feuchter sein, weil die Luft nicht mehr voll trocknungsfähig war. In den anschließend höheren Getreidelagen ist nun das Korn immer wieder noch etwas nasser als in den darunter liegenden, bis schließlich eine bestimmte Höhe im Kornstock erreicht ist, von der ab die Getreidefeuchtigkeit — nach obigem Beispiel 22 % Wassergehalt — bis zur Silooberfläche gleich bleibt. Es hat sich also an der Lufteintrittsstelle eine ganz bestimmte, ausgeprägte *Trocknungsschicht* aufgebaut, die in diesem Zustand weiterhin als *Anlaufschicht* bezeichnet werden soll. Der Augenblick, bei dem die unterste Getreideschicht gerade das Feuchtigkeitsgleichgewicht mit der Frischluft erreicht hat und die Anlaufschicht vollständig aufgebaut ist, wird in Abb. 21a verdeutlicht.

Im weiteren Verlauf der Belüftung, nachdem die unterste Schicht entsprechend herabgetrocknet ist und die Luft hier also nicht weiter trocknen kann, nimmt sie

mit ihrem vollen Trocknungsvermögen die nächst höhere, schon weit vorge-trocknete Schicht in Angriff, bis auch diese trocken ist, und so fort. Gleich-zeitig hat sich die Trocknungsschicht weitergeschoben, d. h. sie wan-dert bei fortwährender Belüftung nach oben. Daß zu Beginn der Wanderung der Trocknungsschicht deren Höhe im Kornstock nicht gleich bleibt, sondern im Anfang noch zunehmen muß, bis nach gewisser, kurzer Zeit die endgültige Trocknungsschichthöhe erreicht ist, sei nur erwähnt<sup>1)</sup>. Hier-durch ist zwar die Höhe der Anlaufschicht niedriger als diejenige der späteren Trocknungsschicht. Das aber ist für den prinzipiellen Vorgang weniger be-deutungsvoll. Während der Wanderung der Trocknungsschicht bleibt somit der Wassergehalt des Getreides unterhalb dieser Zone niedrig, oberhalb aber etwa gleichmäßig hoch — doch wird hier das Korn in keinem Fall feuchter. Innerhalb der Trocknungsschicht erfolgt der Übergang von trockenem zu feuch-tem Getreide. In Abb. 21b ist der Zustand dargestellt, bei dem sich die Trock-nungszone gerade in der mittleren Höhe der Kornsäule befindet.

Eine weitere statische Betrachtung bei der Wanderung der Trocknungszone soll in dem Punkt erfolgen, wo an der Getreideoberfläche gerade die Trocknung beginnt, die Oberkante der Trocknungsschicht also die Luftaustrittsstelle er-reicht hat (siehe Abb. 21c). Von da an beginnt nämlich der Abbau der Trock-nungsschicht, die in diesem Zustand als Auslaufschicht bezeichnet werden soll, wie parallel hierzu in der Anlaufschicht der Aufbau er-folgt war. Diese Auslaufschicht, deren Höhe etwa gleich derjenigen der Trock-nungszone ist, spielt für die weiteren Betrachtungen eine große Rolle. Während nämlich bis zu diesem Zeitpunkt die Luft das feuchte Getreide entsprechend dem Gleichgewicht wasserdampfgesättigt verließ, setzt nun mit der Weiter-wanderung der Auslaufschicht, also mit zunehmender Trocknung der Getreide-oberfläche, eine wachsende Verringerung des Feuchtigkeitsaufnahmevermögens der Luft ein. Gleichzeitig wird die auslaufende Trocknungszone immer kleiner, bis sie schließlich ganz verschwunden und der Kornstock von unten bis oben einheitlich getrocknet ist. Die Zeit, die die Auslaufschicht bis zum Verlassen des Getreidestockes braucht, sei Auslaufzeit genannt.

Somit besteht der Trocknungsvorgang bei einer Getreidesäule aus Aufbau, Wanderung und Auslauf einer Trocknungszone. Dieser Ablauf geht eindeutig aus den Wassergehaltsbestimmungen des Getreides in den ver-schiedenen Lagerhöhen während der gesamten Trocknungszeit her-vor, wie es für ein Beispiel in Abb. 22 dargesellt ist<sup>2)</sup>. Neben den vorhin ge-schilderten Vorgängen ist aus den Feuchtigkeitslinien noch eine gewisse Vor-trocknung der oberen Getreideschicht ersichtlich. Dies bedeutet, daß die Luft nach dem Passieren der Trocknungszonen in den darüber befindlichen feuchten

---

1) Zu Beginn der Belüftung kann die voll trocknungsfähige Luft an der untersten, anfangs noch ganz feuchten Kornschicht auf kürzestem Weg mit vollem Sättigungsvermögen trocknen, so daß sich schnell eine kleinere Höhe der Trocknungszone ausbildet. Dagegen wird im späteren Ver-lauf der Belüftung zur Sättigung der Luft ein längerer Weg benötigt, weil die auf die Trock-nungszone auftreffende Luft mit ihrem vollen Sättigungsgefälle zunächst auf schon fast trockene Getreideschichten stößt.

2) Ähnliche Ergebnisse liegen inzwischen aus England vor. Siehe hierzu: J. Woodforde, W. F. Williamson, J. F. McCloy, Experimental ventilated silo grain storage plant at NIAE; C. S. 15 Silsoe, 1952.

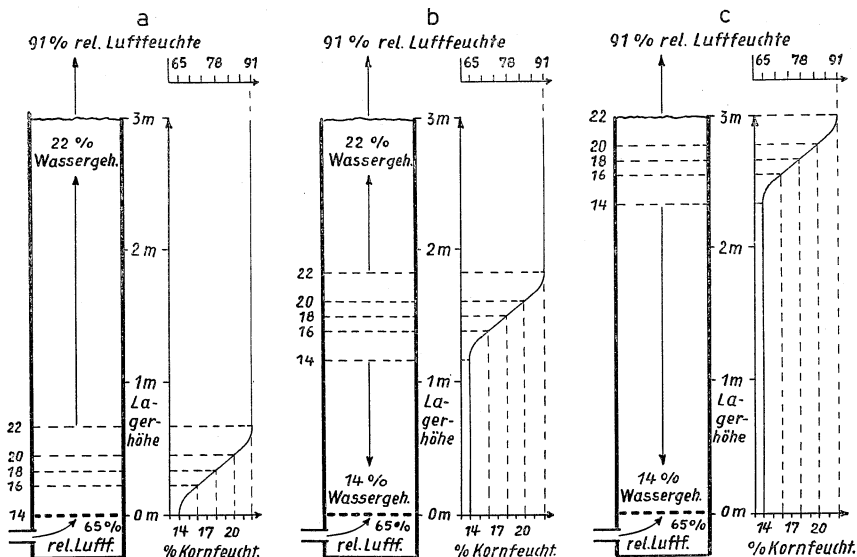


Abb. 21: Trocknungsvorgang in der Kornsäule. a) Aufbau der Trocknungszone b) Wanderung der Trocknungszone. c) Auslauf der Trocknungszone

Kornlagen noch geringe Wassermengen aufzunehmen vermag, so daß hier schon eine schwache Vortrocknung stattfinden kann. Eine Erklärung dafür folgt später.

Der sich aus den Feuchtigkeitsbestimmungen in den einzelnen Höhen errechnete Durchschnittswassergehalt des gesamten, im Behälter eingelagerten Getreides ist in Abb. 23 wiedergegeben. Während bis zum Beginn der Auslaufzeit eine etwa gleichmäßige Abnahme des Durchschnittswassergehaltes beobachtet werden kann, setzt nach diesem Zeitpunkt eine langsamere Trocknung ein, weil die Luft sich nicht mehr im gleichen Maße wie vorher mit Wasserdampf anreichern kann. Schließlich endet die Kurve waagrecht und zeigt an, daß der ganze Kornstock trocken ist.

Entsprechend der Schichtung der Getreidefeuchtigkeit ergibt sich eine solche der Luftfeuchtigkeit im Kornstock, da ja Korn- und Luftfeuchtigkeit durch das Gleichgewicht eng aneinander gekoppelt sind (Abb. 24). So folgen die Linien der rel. Luftfeuchtigkeit eindeutig denen des Getreidewassergehaltes. Die täglichen Schwankungen der rel. Luftfeuchtigkeit der eingeblasenen Luft sind im Getreide weitgehend ausgeglichen. Auch aus dieser Darstellung läßt sich die Abnahme der Wassersättigung der Luft während der Auslaufzeit ablesen, da in dieser Zeitspanne die rel. Luftfeuchtigkeit bis auf den Wert der Zuluft absinkt.

Im Gegensatz zu der rel. Luftfeuchtigkeit unterliegt im Silobehälter die Temperatur der Luft und auch die des Getreides bei der Belüf-

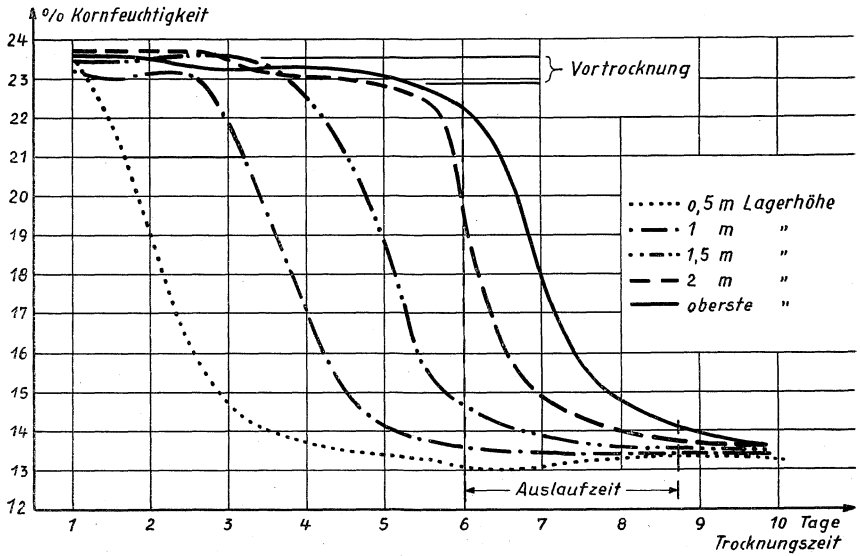


Abb. 22: Verlauf der Trocknung in der Kornsäule (Beispiel aus Versuchswerten)

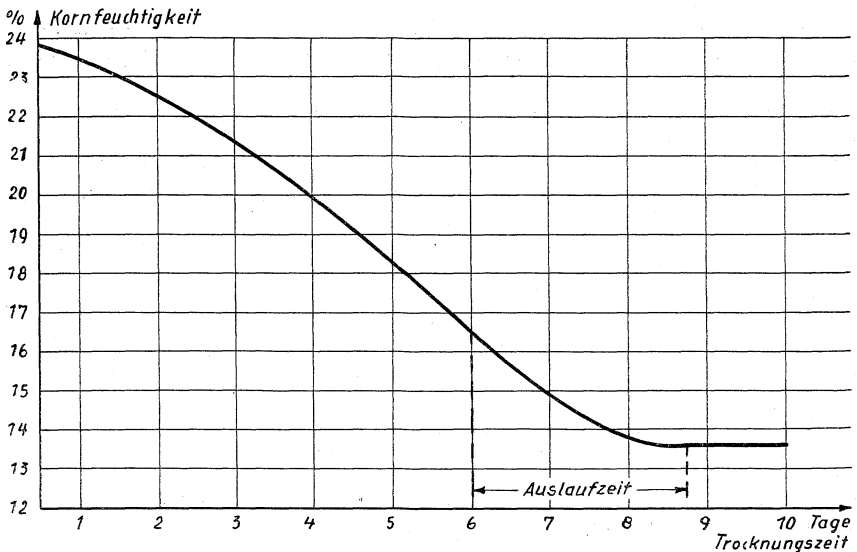


Abb. 23: Verlauf des Durchschnittswassergehaltes bei der Trocknung einer Kornsäule (Werte von Beispiel Abb. 22)

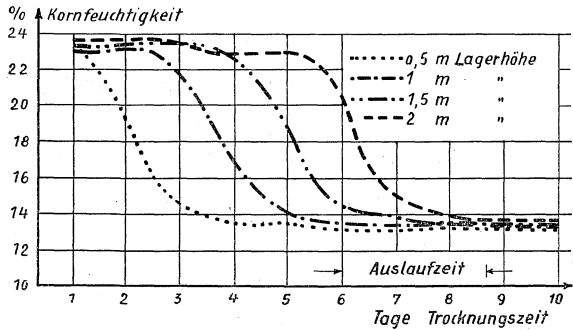
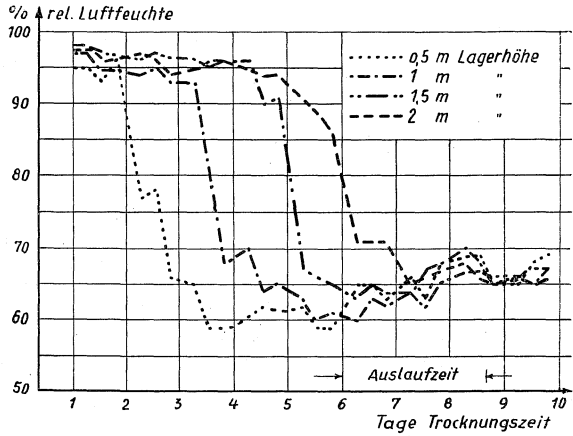


Abb. 24: Verlauf der rel. Luftfeuchtigkeit im Kornstock (Beispiel aus Versuchswerten)

tung erheblichen Schwankungen, wie aus Abb. 25 hervorgeht. Hierbei hat die Temperatur der eingeblasenen Luft einen besonderen Einfluß. Der Wechsel zwischen warmer Mittags- und kühler Nachluft erzeugt einen charakteristischen Rhythmus der Temperaturkurven (Abb. 25a). Bei näherer Betrachtung zeigt sich, daß neben diesen Schwankungen eine Schichtung der Temperatur in den einzelnen Höhen besteht. Im Behälter nimmt sie einmal von unten nach oben zu, wenn kältere Luft eingeblasen wird, zum anderen nach oben hin ab bei warmer Zuluft. Ist nämlich die Temperatur des Getreides im Silo anders als diejenige der hineingeblasenen Luft, so stellt sich nach und nach eine Getreideschicht nach der anderen langsam ungefähr auf die Temperatur der Frischluft ein.

Außer der Temperatur der Zuluft wirkt auch die rel. Luftfeuchtigkeit der Zuluft auf die Getreidetemperatur ein. Wie im ersten Abschnitt dieses Kapitels geschildert, kühlt sich die Luft bei Wasseraufnahme, also bei der Trocknung des Getreides ab. Es wird Verdunstungswärme verbraucht. Umgekehrt

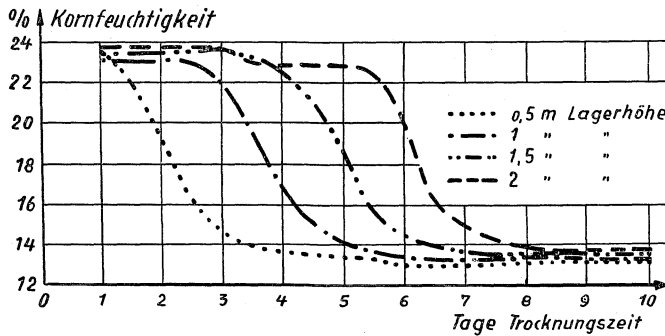
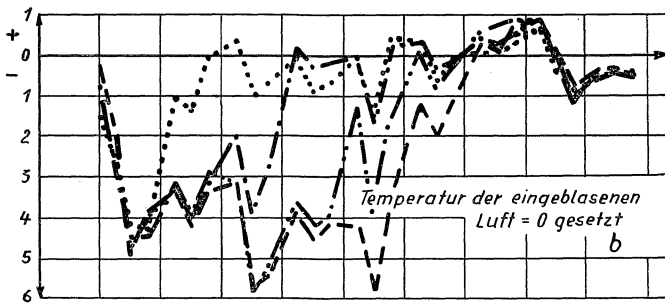
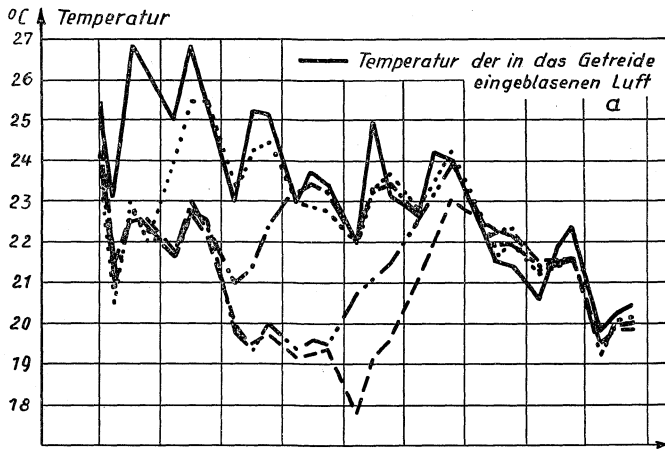


Abb. 25: Verlauf der Temperatur im Kornstock (Beispiel aus Versuchswerten)  
 a) Temperatur in den einzelnen Silohöhen. b) Temperatur der einzelnen Höhen im Vergleich zur eingblasenen Luft



wird bei der Anfeuchtung der unteren Schichten des Getreidestockes mittels feuchter Luft Kondensationswärme frei. Wenn also die Feuchtigkeit des eingelagerten Kornes und diejenige der eingeblasenen Luft nicht im Gleichgewicht sind, können auch im Getreidebehälter die Temperatur der Luft und die des Kornes nicht gleich sein. Dies ist praktisch bei dem Vorgang der Trocknung immer der Fall; denn wo und solange eine Trocknung im Kornstock stattfindet, kühlt sich die Luft und das Getreide ab. So kann schon allein an dem Auftreten des Temperaturabfalles in der Getreidesäule der Verlauf der Trocknung erfolgt werden, was aus Abb. 25b ganz klar hervorgeht<sup>1)</sup>. Vergleicht man die Temperaturlinien mit denen der Getreidefeuchtigkeit, so ist sofort zu erkennen, daß die Temperatur der einzelnen Höhen so lange unter derjenigen der eingeblasenen Luft liegt, wie das Getreide noch feucht ist, während sogleich nach dessen Abtrocknung die Temperatur sich derjenigen der Zuluft angleicht und weiterhin um diese herum mit entsprechender Verzögerung und mit Nachhinken schwankt.

Durch die Temperaturschichtung läßt sich auch ein Anhaltspunkt darüber gewinnen, wodurch der Vorgang der Vortrocknung in den oberhalb der Trocknungszone befindlichen Getreidelagen eventuell ermöglicht wird. Wie aus zahlreichen Versuchsergebnissen (siehe auch Abb. 25) zu erkennen ist, tritt im Getreidestock gewöhnlich dort die niedrigste Temperatur auf, wo sich gerade die Trocknungszone befindet. In den darüber befindlichen Kornschichten müßte eigentlich eine gleich niedrige Temperatur vorherrschen; jedoch ist fast immer von der Trocknungsschicht an mit zunehmender Höhe ein geringer Anstieg der Korn- und Lufttemperatur zu verzeichnen. Als Ursache einer solchen Temperaturerhöhung kann vielleicht neben anderen die durch verstärkte Kornatmung produzierte Wärme angesehen werden<sup>2)</sup>. Die Folge dieses Temperaturanstieges ist aber eine weitere Wasseraufnahmefähigkeit der Luft; denn diese verläßt zwar feuchtigkeitsgesättigt die Trocknungszone, kann aber durch ihre Anwärmung zusätzlich Wasser aufnehmen, weil ihre rel. Luftfeuchtigkeit zur Erhaltung des Gleichgewichtes nicht sinken darf. Somit besteht hierin vielleicht der Grund für die in den höheren Getreideschichten im Laufe der Zeit auftretende geringfügige Vortrocknung.

Diesen bisher geschilderten Vorgängen und Einwirkungen, denen das Getreide bei der Belüftung mit atmosphärischer Luft in einem Behälter ausgesetzt ist, liegen die Meßergebnisse eines der Versuchssilos als Beispiel zugrunde. Gleiche und abgewandelte Resultate wurden in sämtlichen anderen Probebehältern festgestellt. Da das eingelagerte Getreide in ihnen jedoch unter den verschiedensten Ausgangsbedingungen — wie unterschiedlicher Kornfeuchtigkeit, stündlicher Luftmenge usw. — untersucht wurde, lassen die umfangreichen Meßergebnisse weitere Aussagen über allgemeine Abhängigkeiten und Einflüsse zu, denen das Getreide bei der Belüftung unterliegt. Hierbei soll die Trocknung des feuchten Kornes im Vordergrund der weiteren Betrachtungen stehen, da ihr ja die größte praktische Bedeutung zukommt.

---

1) Zur besseren Veranschaulichung ist die Temperatur der in das Getreide eingeblasenen Luft gleich Null gesetzt. Der auf Abb. 25 unten aufgetragene Wassergehaltsverlauf dient zur Erklärung der Temperaturkurven.

2) Wegen der mit der Kornatmung parallel auftretenden Substanzverluste ist es außerordentlich wichtig, diese Zusammenhänge in weiteren Untersuchungen eingehend zu erforschen.

### *c. Die Trocknungsgeschwindigkeit*

Bevor jedoch die einzelnen Einwirkungen auf die Trocknung näher behandelt werden, müssen, um genaue Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen, zwei Voraussetzungen angenommen werden. Im Hinblick auf eine spätere Dimensionierung des Belüftungsgebläses sei ein bestimmter, mit Getreide vollständig ausgefüllter Behälterraum von z. B. einem  $m^3$  Rauminhalt zugrunde gelegt und nicht eine bestimmte Getreidemenge in kg. Ferner soll es sich vorerst bei Beginn der Belüftung um einen von unten bis oben gleichmäßig feuchten Kornstock handeln.

Jetzt ist die Trocknung, also der Wasserentzug in der Zeiteinheit hauptsächlich abhängig von folgenden Faktoren:

1. Trocknungsfähigkeit der zugeführten Luft (Klima)
2. stündliche Luftmenge
3. Einlagerungsfeuchtigkeit des Getreides
4. Getreideart
5. Höhe der Trocknungsschicht.

1. Die Trocknungsfähigkeit der in das Getreide eingeblasenen Luft ist überhaupt erst die Voraussetzung für eine Feuchtigkeitsabnahme des im Behälter eingelagerten Kornes. Ihr Einfluß leitet sich — wie schon im vorigen Abschnitt dargelegt — im wesentlichen von den zwei charakteristischen Eigenschaften ab, nämlich von der rel. Luftfeuchtigkeit und der Temperatur, also den praktischen Witterungswerten. So ist bei konstanten anderen Trocknungsfaktoren das Klima von ausschlaggebender Bedeutung für die Trocknung mittels atmosphärischer Luft.

Die rel. Luftfeuchtigkeit wirkt sich in zweierlei Richtung auf die Trocknungsgeschwindigkeit aus. Auf der einen Seite ist bei niedriger Luftfeuchtigkeit das Feuchtigkeitsgefälle zwischen ein- und austretender Luft, also das Wasseraufnahmevermögen der Luft größer. Dem entgegen wirkt aber auf der anderen Seite die Tatsache, daß die relativ trockene Luft das Korn weiter heruntrocknet (vgl. die Gleichgewichtskurven in Abb. 6—8), so daß entsprechend mehr Wasser entzogen werden muß. Hierdurch kommt es, daß niedrigere Luftfeuchtigkeit nicht in dem Maße eine Abkürzung der Trocknungszeit bewirkt, wie es die nun bessere Wassersättigung der Luft vermuten läßt, wohl aber bedeutet niedrigere Luftfeuchtigkeit in jedem Falle Herabsetzung der Endfeuchtigkeit des Kornes. Das ist an einem Beispiel leicht erkennbar:

Zu trocknen sei:

1  $m^3$  Weizen (730 kg) bei 20 % Anfangsfeuchtigkeit

14° C Lufttemperatur

275  $m^3$  Luft je Stunde

rel. Luftfeuchtigkeit in %	75	65	55	45
Endfeuchtigkeit des Getreides in %	15,5	14	12,8	11,5
zu entziehende Wassermenge in kg	39	51	60,3	70
Wasseraufnahmevermögen der Luft in g Wasser je m <sup>3</sup> Luft	0,59 (± 0 %)	0,91 (+ 54 %)	1,31 (+ 122 %)	1,66 (+ 181 %)
Trocknungsdauer in Tagen (Dauerbelüftung)	10 (± 0 %)	8,5 (— 15 %)	7 (— 30 %)	6,4 (— 36 %)

Die Trocknungsfähigkeit der Luft ist weiterhin abhängig von ihrer Temperatur. Bei gleicher rel. Luftfeuchtigkeit steigt mit zunehmender Temperatur das Wasseraufnahmevermögen der dem Getreide zugeführten Luft und umgekehrt (siehe Seite 30). Das bedeutet, daß bei einem Vergleich des absoluten Wassergehaltes zwischen Zu- und Abluft je nach der Lufttemperatur entweder mehr oder weniger Feuchtigkeit in der Zeiteinheit dem Getreide entzogen wird. Also ist sie als Witterungswert für eine kurze oder lange Gesamttrocknungszeit des Getreidestockes mit verantwortlich.

Nebenbei sei noch die Änderung des Feuchtigkeitsgleichgewichtes zwischen Korn und Luft durch die Temperatur erwähnt, wodurch allerdings das Sättigungsfälle und damit auch andere Faktoren nur gering verschoben werden. Dieser Einfluß ist in späteren Berechnungen außer Acht gelassen worden <sup>1)</sup>.

2. Die stündliche Luftmenge<sup>2)</sup>, die durch das Getreide hindurchgeblasen wird, spielt für die Schnelligkeit der Trocknung eine entscheidende Rolle. Wird für eine gewisse Getreidemenge von gleichem Wassergehalt die stündliche Menge an Luft bestimmter Zusammensetzung — also mit gleichbleibendem, nutzbarem Feuchtigkeitssättigungsdefizit in g Wasser je m<sup>3</sup> Luft — vergrößert, so steigt dadurch selbstverständlich der Wasserentzug in der Zeiteinheit und deshalb auch die Trocknungsgeschwindigkeit.

Zur Klärung dieses Zusammenhanges sei hier ein Beispiel aus den umfangreichen Versuchsergebnissen angeführt. In Abb. 26 sind die Werte von drei Meßsilos aufgetragen, die unter sonst gleichen Bedingungen, aber mit unterschiedlichen stündlichen Luftmengen belüftet wurden (190 m<sup>3</sup> Luft/h und m<sup>2</sup>, 480 m<sup>3</sup> Luft/h und m<sup>2</sup> und 960 m<sup>3</sup> Luft/h und m<sup>2</sup>). Bei einem Vergleich dieser Versuchssilos zeigt sich, daß mit steigender stündlicher Luftmenge die Trocknung im Behälter in der gleichen Zeit weiter fortgeschritten, also eine größere Lagerhöhe erreicht ist, weil nämlich die Wandergeschwindigkeit der Trocknungszone etwa proportional mit der stündlichen Luftmenge zunimmt.

<sup>1)</sup> Die geschilderte Auswirkung der Klimawerte läßt sich auch aus den Tabellen 1 und 2 Seite 79 ablesen.

<sup>2)</sup> Wie bei den ersten Versuchen wird auch hier zunächst mit folgender Einheit für die Luftmenge gerechnet, wobei allerdings nun die Lagerhöhe mit berücksichtigt werden muß:

**m<sup>3</sup> Luft in der Std. je m<sup>2</sup> Grundfläche und m Lagerhöhe.**

Diese Dimension kann zur Angabe des Luftbedarfes, der für die Trocknung benötigt wird, vereinfacht werden, indem an Stelle der Grundfläche und Lagerhöhe das Volumen des Behälters bzw. Kornstockes eingesetzt wird (Begründung siehe später Seite 54):

**m<sup>3</sup> Luft in der Std. je m<sup>3</sup> Siloraum (bzw. Getreide).**

Siehe hierzu auch: H. Nuret, La ventilation du grain. a. a. O.

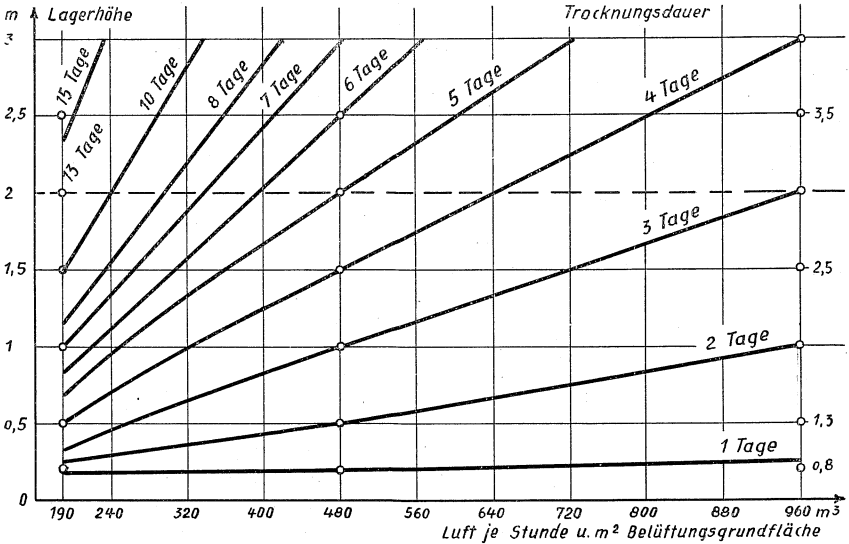


Abb. 26: Abhängigkeit der Trocknungsgeschwindigkeit von der stündlichen Luftmenge (Gerste, 21% Einlagerungsfeuchtigkeit)

Das hat freilich zur Voraussetzung, daß die Luft immer mit einer gleich hohen Wassersättigung den Kornstock verläßt. Unter zwei Bedingungen ist dies jedoch nicht mehr der Fall:

Bei sehr geringer Lagerhöhe hat die Luft nicht genügend Gelegenheit, sich mit Wasserdampf anzureichern (siehe Seite 36), so daß mit Zunahme der stündlichen Luftmenge kaum noch eine schnellere Trocknung erfolgt (vergleiche in Abb. 26 die Lagerhöhe 0,25 m bei Steigerung der stündlichen Luftmenge).

Bei sehr hoher stündlicher Luftmenge hat die Luft nicht mehr genügend Zeit, sich bis zur Grenze des Möglichen mit Feuchtigkeit zu sättigen; ihr Trocknungspotential wird nur noch schlecht ausgenutzt, so daß die Trocknungsgeschwindigkeit nicht mehr proportional mit der stündlichen Luftmenge zunimmt (vergleiche in Abb. 26 bei 2 m Lagerhöhe: 5 Tage bei 480 m<sup>3</sup> Luft/h und m<sup>2</sup> und 3 Tage bei 960 m<sup>3</sup> Luft/h und m<sup>2</sup>).

3. Als nächster wichtiger Trocknungsfaktor ist die Einlagerungsfeuchtigkeit des Getreides zu nennen. Der Einfluß auf das Trocknungsergebnis beruht hauptsächlich auf zwei gegenläufigen Wirkungen.

Mit zunehmender Ausgangsfeuchte des Kornes nimmt einerseits die zu entziehende Wassermenge zu, andererseits steigt aber das Feuchtigkeitsgefälle zwischen ein- und austretender Luft, da letztere ja entsprechend dem höheren Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen Korn und Luft

mehr Wasser aufnehmen kann <sup>1)</sup>. Allerdings hört diese Steigerung der Wasseraufnahme bei etwa 20 % Kornfeuchte auf, da hier die Gleichgewichtskurve ungefähr senkrecht nach oben abbiegt (Abb. 6—8) <sup>2)</sup>.

Infolgedessen wirken sich diese beiden gegenläufigen Tendenzen bis zu etwa 20 % Wassergehalt des Getreides stark entgegen, während bei weiterem Anstieg der Kornfeuchte ausschließlich die Zunahme der zu entziehenden Wassermenge in einem etwa proportionalen Anstieg der Trocknungszeit zur Auswirkung kommt. Das wird durch Ergebnisse der Versuche eindeutig bestätigt und soll an Hand eines Beispiels veranschaulicht werden. Hierzu sind die Durchschnittswerte sämtlicher Meßsilos, die mit Roggen <sup>3)</sup> von verschiedener Feuchtigkeit gefüllt waren, zugrunde gelegt.

Zu trocknen sei:

1 m<sup>3</sup> Roggen (720 kg) bei 20° C Lufttemperatur  
 64 % rel. Luftfeuchte  
 (14 % Endfeuchtigkeit des Getreides)  
 205 m<sup>3</sup> Luft je Stunde

Anfangsfeuchtigkeit des Getreides	18 %	22 %	26 %
zu entziehende Wassermenge in kg	33,5	67	100,5
Wasseraufnahmevermögen der Luft in g Wasser je m <sup>3</sup> Luft	0,98	1,56	1,64
Trocknungsdauer in Tagen (Dauerbelüftung)	7	8,8	12,5

4. Neben den bisher angeführten Faktoren besitzt die Getreideart hauptsächlich dann einen wesentlichen Einfluß auf das Trocknungsergebnis, wenn nicht gleiche Gewichtsmengen sondern — wie bisher — gleiche Raummengen verglichen werden. Die Getreidearten unterscheiden sich nämlich zum Teil sehr erheblich durch ihr Raumgewicht <sup>4)</sup>, wodurch sich dann auch die zu verdunstende Wassermenge verändert. Vergleicht man so z. B. bei gleichem Prozentsatz der Kornfeuchtigkeit und gleichem Siloraum die Trock-

<sup>1)</sup> Allerdings variiert bei gleichem Prozentsatz an Feuchtigkeitsentzug die aus einer bestimmten Getreideportion herauszutrocknende Wassermenge etwas mit der Getreidefeuchtigkeit. Für 1 % Wassergehaltsminderung müssen bei 100 kg Getreide mit 25 % Feuchtigkeit 1,32 kg Wasser verdunstet werden, dagegen bei 10 % Kornfeuchtigkeit nur 1.1 kg. Also ist für die Trocknung von sehr feuchtem Getreide relativ mehr Wasser zu entziehen als bei weniger feuchtem Korn und die Trocknung erfolgt verhältnismäßig langsamer. Dieser Unterschied, der allerdings nicht von großer Bedeutung ist, tritt aber nur dann in Erscheinung, wenn sich die Prozentangabe der Getreidefeuchtigkeit auf Naßbasis bezieht und nicht auf Trockenbasis; denn beim Rechnen mit letzterer bleiben die Substanzmengen gleich. Jedoch ist in Deutschland praktisch die Angabe der Getreidefeuchtigkeit auf Trockenbasis bezogen nicht üblich.

Näheres über die Berechnung des Wasserentzuges siehe Anhang 3, zur Umrechnung der Getreidefeuchtigkeit von Naßbasis auf Trockenbasis siehe Anhang 4.

<sup>2)</sup> Aus den Versuchsergebnissen ist jedoch zu vermuten, daß nicht streng mit der Grenze bei 20 % Getreidefeuchtigkeit zu rechnen ist. Vielmehr liegt hiernach der oben beschriebene Übergang bei 20 % bis 22 % Kornfeuchtigkeit.

<sup>3)</sup> Bei den anderen Getreidearten ergaben sich ähnliche Ergebnisse, teils in noch krasserer Form als das angeführte Beispiel des Roggens.

<sup>4)</sup> Nähere Angaben über das Raumgewicht des Getreides siehe Anhang 5.

nung des Weizens mit der des Hafers, so braucht, um denselben Endwassergehalt zu erreichen, beim Hafer rund 40 % weniger Wasser entzogen zu werden als beim Weizen; das heißt, der Hafer müßte bei der Belüftung mit gleicher Luftzusammensetzung und -menge in etwa  $\frac{2}{5}$  Zeit schneller trocken sein <sup>1)</sup>.

Übrigens spielt das Raumgewicht auch bei dem unter 3. aufgeführten Trocknungsfaktor der Einlagerungsfeuchtigkeit des Getreides eine Rolle. Mit steigendem Wassergehalt nimmt nämlich das Hektolitergewicht ab, so daß in einen bestimmten Behälter je nach Getreidefeuchtigkeit mehr oder weniger Kornmenge hineinpaßt. Hiermit unterliegt der Anfangswassergehalt auch den oben geschilderten Bedingungen der unterschiedlichen Raumgewichte <sup>2)</sup>.

Weiterhin bestehen vermutlich Unterschiede im Feuchtigkeitsgleichgewicht zwischen den verschiedenen Getreidearten und der Luft, wodurch eine Verschiedenheit ihrer Trocknungsfähigkeit erklärbar wird, was aber mangels zuverlässiger Unterlagen über Gleichgewichtswerte bisher keine exakte Nachprüfung zuläßt.

5. Auf ihrer Wanderung durch die Getreideschicht nimmt die Luft, sobald sie auf feuchtes Korn trifft, allmählich so viel an Wasserdampf auf, bis ihr mögliches Sättigungsdefizit erschöpft ist. Der Weg, den sie bis dahin zurücklegt, bildet die Verdunstungsweglänge, also die Höhe der Trocknungszone (siehe Seite 41). Sie besitzt ebenfalls Bedeutung für den Trennungserfolg, da sie vor allem über eine gute oder schlechte Ausnutzung der Belüftungsluft entscheidet.

Diese Trocknungsschichthöhe kann nun verschieden sein, weil auf sie sämtliche vorhin beschriebenen vier Trocknungsfaktoren einwirken. Die Abhängigkeit von ihnen ist jedoch nach den bisherigen Versuchsergebnissen im einzelnen nicht immer deutlich zu erkennen. Lediglich scheint über den Einfluß der stündlichen Luftmenge, also der Windgeschwindigkeit eine Aussage möglich.

So ergab sich z. B. bei einem Vergleich zweier Versuchssilos, die unter gleichen Ausgangsbedingungen, aber mit verschiedener Windgeschwindigkeit belüftet wurden, folgendes Ergebnis: Die stündlich eingeblasene Luftmenge betrug in einem Falle 350 m<sup>3</sup> je m<sup>2</sup> Belüftungsgrundfläche, im anderen 700 m<sup>3</sup> je m<sup>2</sup>. Im ersten Fall hatte die Trocknungszone eine Wandergeschwindigkeit von 1,1 cm je Stunde, im zweiten Fall dagegen infolge der größeren Luftmenge eine von 2,24 cm je Stunde (siehe Seite 49) <sup>3)</sup>. Nun dauerte bei der kleineren Windgeschwindigkeit das Vorüberziehen der Trocknungsschicht in einer bestimmten Silohöhe 30 Stunden, während bei der größeren Windgeschwindigkeit auch 30 Stunden benötigt wurden. Hieraus errechnet sich für den ersten Versuchssilo eine Höhe der Trocknungsschicht von 33 cm, für den zweiten dagegen eine von 67,2 cm.

---

1) Siehe auch Seite 82.

2) Aus diesem Grunde muß zur Berechnung der zur Trocknung benötigten Luftmenge das der Einlagerungsfeuchtigkeit entsprechende Raumgewicht eingesetzt werden. Siehe hierzu Tab. 1 und 2, Seite 79.

3) Die Wandergeschwindigkeit errechnete sich aus der täglich und in verschiedener Silohöhe gemessenen Getreidefeuchtigkeit.

Also wird bei geringer Windgeschwindigkeit im Kornstock nur eine kleine Höhe der Trocknungszone ausgebildet und bei höherer Luftmenge je Zeit eine größere. Es ist nach diesen und ähnlichen Versuchsergebnissen sogar wahrscheinlich, daß in bestimmten Grenzen die Verdunstungsweglänge mit der Steigerung der Windgeschwindigkeit proportional anwächst<sup>1)</sup>.

Diese unterschiedliche Trocknungsschichthöhe, die zum Schluß der Trocknung als Auslaufschicht den Kornstock verläßt, wirkt sich hauptsächlich durch eine verschiedene Gesamtluftausnutzung aus und ist dadurch für das Ergebnis der Trocknung mit verantwortlich. An einem Beispiel soll dies näher erklärt werden.

Bei konstanten Bedingungen und gleichem Silobehälterraum von einem Kubikmeterwürfel sei die Höhe der Auslaufschicht im einen Fall 0,5 m, im anderen 0,1 m. Im ersten Fall setzt dann — wenn die Auslaufzeit unberücksichtigt bleibt — nach etwa der halben Belüftungszeit das Herausschieben der Auslaufschicht aus der Getreideoberfläche ein, da ja die Lagerhöhe 1 m beträgt. Die Abluft entweicht von diesem Zeitpunkt an entsprechend der Abtrocknung des zu oberst lagernden Kornes mit zunehmend geringerer Ausnutzung ihres Wassersättigungsvermögens (siehe Seite 42). Das bedeutet aber, daß die Luft nur während der ersten Hälfte der Trocknungszeit mit dem gemäß der Anfangsgetreidefeuchtigkeit möglichen Wasserdampf angereichert wird (= 100 gesetzt), dagegen in der zweiten Hälfte von dieser höchsten Sättigung bis zum Schluß der Belüftung auf den Nullwert der Wasseraufnahme absinkt, also in dieser Zeit im Durchschnitt mit einer hier angenommenen etwa fünfzigprozentigen Ausnutzung ihres Trocknungsvermögens das Getreide verläßt<sup>2)</sup>. Hieraus errechnet sich für die Gesamttrocknungszeit, daß von der möglichen Feuchtigkeitsättigung der Luft im Durchschnitt nur 75 % erreicht werden.

Im zweiten Fall dagegen bleibt die höchstmögliche Wasserdampfsättigung der Luft in  $\frac{9}{10}$  der Belüftungszeit erhalten, da die Trocknungsschicht eine Höhe von 0,1 m besitzt. Nur während  $\frac{1}{10}$  der Trocknungszeit, wenn sich nämlich die Trocknungszone durch die Getreideoberfläche schiebt, ist gemäß voriger Annahme die Abluft im Mittel zu 50 % von dem Möglichen mit Wasserdampf angereichert. Somit ergibt sich für den zweiten Fall eine Gesamtluftausnutzung von im Durchschnitt 95 %.

Dieser unterschiedlichen Ausnutzung des Feuchtigkeitsdefizits der Trocknungsluft von 75 % und 95 % entspricht nun ein verschiedener Bedarf an Gesamtluftmenge, die zur Trocknung je m<sup>3</sup> nötig ist. Im angeführten Beispiel erhöht sich demnach im ersten Fall die erforderliche Luftmenge um 21 %. Hieraus ergibt sich bei einer Umrechnung auf gleiche Luftmenge je Zeiteinheit eine unterschiedliche Trocknungsdauer.

Also bedeutet eine im Verhältnis zur Lagerhöhe niedrige Höhe der Trocknungszone und damit der Auslaufschicht eine im Bereich des Mög-

---

1) Vermutlich steigt auch mit zunehmender Einlagerungsfeuchtigkeit die Höhe der Trocknungsschicht an.

2) So bei 20 % Anfangsfeuchtigkeit und gleichmäßigem Verlauf der Gleichgewichtskurve.

lichen gute Ausnutzung der Trocknungsfähigkeit der Luft und so ein gutes Trocknungsergebnis. Dieses Verhältnis von Trocknungsschichthöhe zur Lagerhöhe wird um so günstiger, je größer die Lagerhöhe bei gegebener stündlicher Luftmenge oder je kleiner die Luftgeschwindigkeit bei gegebener Lagerhöhe ist; beides hat eine Verlängerung der Trocknungszeit zur Folge, mit der also letztlich eine bessere Gesamtluftausnutzung verbunden ist <sup>1)</sup>.

Wird also bei gegebener Luftmenge die Getreidemenge vergrößert — etwa durch Steigerung der Lagerhöhe — so muß automatisch die Trocknungszeit länger werden, allerdings wegen der jetzt herrschenden etwas besseren Luftausnutzung nicht ganz entsprechend der Zunahme der Getreidemenge, weil der Anteil der Auslaufzeit an der Gesamtblüfungszeit geringer wird. Wird dagegen bei gegebener Getreidemenge die Luftmenge gesteigert, so muß die Trocknungszeit kürzer werden; jedoch nimmt sie nicht proportional mit Zunahme der stündlichen Luftmenge ab, sondern sie verringert sich langsamer, weil die Luftausnutzung schlechter wird (siehe Seite 50). Anders gesagt: Bei der Verkürzung der Trocknungszeit steigt die zur Trocknung benötigte Gesamtluftmenge an.

Weiterhin spielt der Zusammenhang zwischen Trocknungsschichthöhe und Windgeschwindigkeit für die Frage der Lagerform eine Rolle. Innerhalb gewisser Grenzen scheint es bei gegebener stündlicher Luftmenge für die benötigte Trocknungszeit gleich zu sein, ob eine bestimmte Getreidemenge flach auf großer Grundfläche oder hoch auf kleiner Grundfläche belüftet wird, da die Auslaufzeit und damit die Luftausnutzung dieselbe bleibt. Im ersten Fall bildet sich infolge geringer Windgeschwindigkeit eine kleine Höhe der Auslaufschicht, im zweiten Fall dagegen infolge hoher Windgeschwindigkeit eine große Höhe der Auslaufschicht. Das muß sich bei einer Proportionalität zwischen Luftgeschwindigkeit und Verdunstungsweglänge auf die Auslaufzeit und deshalb auch auf die Luftausnutzung ausgleichend auswirken, so daß das Verhältnis von Lagerhöhe zu Auslaufschichthöhe gleich bleibt. Aus diesem Grunde ist es möglich, die zur Trocknung benötigte stündliche Luftmenge je m<sup>3</sup> Getreide anzugeben, ohne auf die Lagerform Rücksicht zu nehmen.

Das Trocknungsergebnis, d. h. sowohl die erzielbare Endfeuchtigkeit als auch die zur Trocknung benötigte Zeit, hängt also wesentlich von den fünf aufgezählten Faktoren ab. Um den Trocknungsvorgang in etwa in der Hand zu haben und zu steuern, kann auf zwei dieser Trocknungsfaktoren mit Hilfe technischer Mittel und Maßnahmen eingewirkt werden; denn zur Änderung der Trocknungsfähigkeit der Luft und der stündlichen Luftmenge bestehen Möglichkeiten. Das Wasseraufnahmevermögen der Luft läßt sich

---

1) Eine geringere Windgeschwindigkeit der austretenden Luft ist besonders in dem Fall vorhanden, wo nicht — wie bisher immer angenommen — parallel von unten nach oben durch das Getreide belüftet wird, sondern wo die Luftführung von einem in der Mitte eines zylindrischen Behälters befindlichen Zentralrohr aus seitlich horizontal durch das Getreide und schließlich durch die perforierte Außenwand hinaus erfolgt. Hierbei nimmt nämlich die Windgeschwindigkeit innerhalb des Silos von innen nach außen ständig ab und ist in den Randpartien am geringsten. Folglich muß bei diesem Blüfungssystem die Auslaufschicht verhältnismäßig niedrig sein und dadurch eine günstigere Luftausnutzung gewährleisten.



durch künstliche Anwärmung derselben — wie bereits besprochen — (oder durch Entzug der Feuchtigkeit mittels hyroskopischen Materials, wie Silikagel)<sup>1)</sup> erhöhen, die Luftmenge in der Zeiteinheit durch Vergrößerung der Gebläseförderleistung. Voraussetzung zur Feststellung der Ventilatorleistung ist aber die Kenntnis der zur Trocknung benötigten stündlichen Luftmenge. Diese Luftmenge, die für die Trocknung eines bestimmten Getreidevolumens unter den verschiedenen Bedingungen erforderlich ist, soll in einem weiteren Kapitel noch näher behandelt werden.

### *d. Unterschiedliche Feuchtigkeitsschichtung bei der Einlagerung*

In der Praxis wird nun nicht, wie bisher immer vorausgesetzt wurde, in jedem Fall das Getreide mit gleichmäßiger Feuchtigkeit eingelagert werden, sondern es wird auch oft in Partien mit unterschiedlichem Wassergehalt in die Behälter gefüllt, so daß schon zu Beginn der Belüftung eine Schichtung vorliegt. Diese kann sehr vielseitig gestaltet sein und läßt viele Kombinationen zu. Hier sollen jedoch nur zwei Fälle einer solchen unterschiedlichen Feuchtigkeitsschichtung angeführt werden.

Zunächst sei der Fall betrachtet, wo in der unteren Hälfte des Kornstockes trockenes Getreide eingelagert wurde, darüber aber gleichmäßig feuchtes (siehe Abb. 27). Diese Schichtung ähnelt dem Zustand eines zu Anfang von unten bis oben mit feuchtem Korn angefüllten Behälters, der halb fertig getrocknet ist (vergl. Abb. 21b). Allerdings wäre dann schon eine ausgeprägte Trocknungszone vorhanden, während in diesem neuen Fall zu Beginn der Belüftung erst die Anlaufschicht ausgebildet werden muß. Außer diesem Unterschied bestehen aber die gleichen Bedingungen für eine gute Ausnutzung der Trocknungsfähigkeit der Luft, da sie entsprechend der oben liegenden und zuletzt trocknenden, also am längsten feucht bleibenden Getreideschicht mit Wasserdampf gesättigt abzieht. Das bedeutet, daß die Gesamttrocknungszeit bei dem Kornstock mit zur Hälfte feuchtem Getreide ungefähr nur halb so lange dauert wie bei einem solchen, der von unten bis oben gleichmäßig feucht ist.

Bei einer derartigen Feuchtigkeitsschichtung, wie sie bei der Belüftung jedes Kornstockes nach einer gewissen Betriebszeit vorliegt, wobei also der oberen feuchten Getreidepartie unten eine trockene Kornschicht vorgelagert ist, besitzt diese noch eine besondere Wirkung. Da bei der Belüftung mittels atmosphärischer Luft nicht mit deren konstanter Trocknungseigenschaft gerechnet werden kann, sondern ihre rel. Luftfeuchtigkeit und ihre Temperatur während des Tages und im Verlauf der Belüftungszeit mehr oder weniger heftigen Schwankungen unterliegt, fängt die untere trockene Getreide-

---

<sup>1)</sup> Hierbei handelt es sich allerdings um ein umständliches Verfahren, das dort angewandt wird, wo keine Erhöhung der Temperatur der Trocknungsluft zulässig ist, wie z. B. bei der Fischtrocknerei.

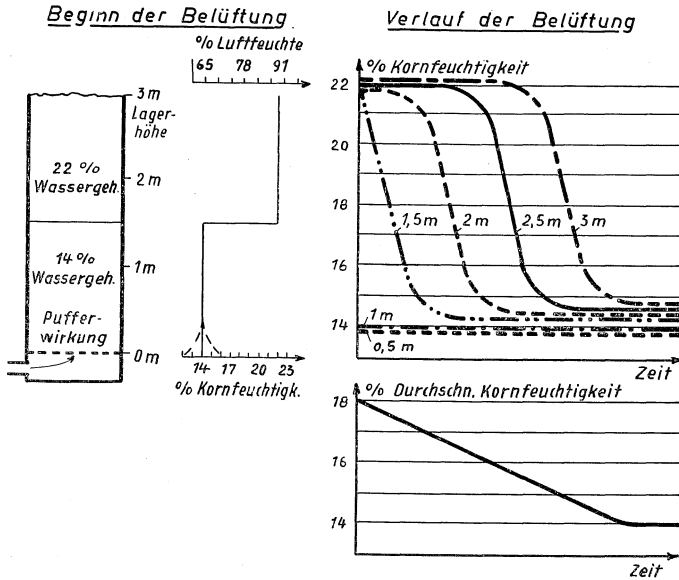


Abb. 27: Kornstock mit ungleichmäßig feuchtem Getreide, unten trocken — oben feucht (schematische Darstellung nach Versuchsergebnissen)

s chicht diese witterungsbedingten Schwankungen mehr oder weniger auf. Bei der Zufuhr von Luft mit hoher rel. Luftfeuchtigkeit, wie sie z. B. nachts herrscht, wird das an der Lufteintrittsstelle lagernde trockene Getreide angefeuchtet. Es nimmt also der Luft die Feuchtigkeit ab und wirkt somit als Trockenvorlage für die oberen feuchten Kornpartien, die nun trotz Belüftung mit feuchter Luft weiter abtrocknen können. Wird aber anschließend dem Getreide Luft von sehr niedriger rel. Luftfeuchtigkeit zugeführt, dann trocknen die vorher angefeuchteten unteren Kornschichten, ja sie können sogar etwas untertrocknet werden. Hierbei wird die Luft zwar in geringem Maße in ihrem Wasseraufnahmevermögen geschwächt; sie besitzt für die oberen feuchten Schichten aber immer noch die dem Durchschnittswert der Klimaschwankungen entsprechende Trocknungsfähigkeit.

• Als zweite Möglichkeit verschiedener Feuchtigkeitsschichtung soll der umgekehrte Fall erörtert werden, bei dem sich nämlich im Silo unten feuchtes Getreide, darüber aber trockenes befindet (siehe Abb. 28). Hier ist gegenüber dem vorhin beschriebenen Beispiel die Ausnutzung der Trocknungsfähigkeit der Luft denkbar ungünstig; denn während sie sich in den unteren Kornschichten mit Wasserdampf belädt, gibt sie diesen in den darüber befindlichen trockenen Kornlagen wiederum ab und entweicht fast unausgenutzt. Dieser Vorgang hält solange an, bis die Feuchtigkeitsumlagerung so weit fort-

geschritten ist, daß die untere Hälfte des Kornstockes abgetrocknet, die obere aber angefeuchtet ist, also der Schichtung vom vorigen Fall entspricht. Erst von diesem Zeitpunkt an erfolgt eine fortlaufende Trocknung, während bis dahin die Energie der Luftzuführung nur für die Feuchtigkeitsumschichtung aufgewandt wurde. Somit dürfte zur Trocknung dieses halb feuchten und halb trockenen Kornstockes eine ungefähr genau so große Gesamtluftmenge benötigt werden, wie wenn der Behälter ganz mit feuchtem Getreide angefüllt und zu trocknen wäre (vgl. hierzu den Verlauf des Durchschnittswassergehaltes).

Aus diesem Grunde muß es im Hinblick auf den Trocknungserfolg immer am zweckmäßigsten sein, wenn das feuchteste Getreide an der Luftaustrittsstelle, also bei senkrechter Durchlüftung oben lagert, und zwar von Anfang bis Ende der Trocknungszeit. Aber auch von einem anderen Gesichtspunkt aus erscheint dies zweckvoll. Wird zur Überprüfung des Trocknungsfortschrittes der Zustand der Zuluft mit demjenigen der Abluft verglichen, so könnte bei an der Oberfläche befindlichem trockenem Getreide und gleichzeitigem Vorhandensein von feuchten Getreidepartien in der Mitte des Kornstockes ein falsches Bild entstehen, nämlich dahingehend, als ob der gesamte Getreidebehälter trocken wäre.

Aus einem anderen Grunde ist aber jede unterschiedliche Schichtung von feuchtem und trockenem Getreide im Belüftungssilo unvorteilhaft. Denn der Energieverbrauch des Gebläses steigt nicht nur mit zuneh-

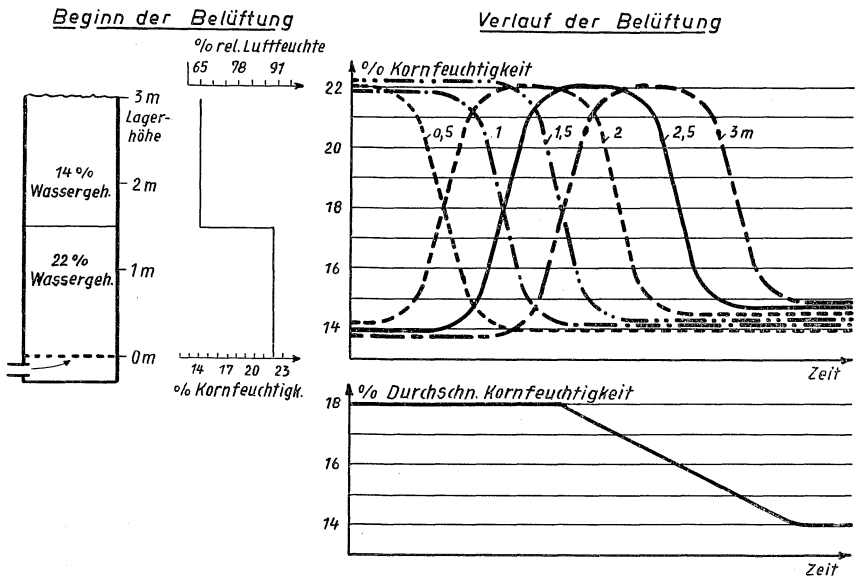


Abb. 28: Kornstock mit ungleichmäßig feuchtem Getreide, unten feucht — oben trocken (schematische Darstellung nach Versuchsergebnissen)

mender Luftmengenförderung, sondern auch mit anwachsendem Widerstand, der der Luft bei einer Verlängerung des Weges durch das Getreide von diesem entgegengesetzt wird.

Ist nun z. B. die Hälfte des zu belüftenden Getreidepostens bereits trocken — hierbei ist es gleich, wo es sich im Kornstock befindet — so bildet es für die Trocknungsluft immer einen unnützen Widerstand, der seinerseits erhöhte Trocknungskosten verursacht. Deshalb ist es zur Vermeidung unnötigen Energieaufwandes des Gebläses immer wichtig, vor der Einlagerung eine Trennung zwischen feuchtem und trockenem Getreide vorzunehmen, soweit das praktisch durchführbar ist.

Nun taucht natürlich auch der Gedanke auf, aus demselben Grund während des Fortschreitens der Trocknung laufend diese Trennung durchzuführen. In der Praxis könnte das verwirklicht werden, indem bei senkrechter Belüftung und Vorhandensein eines Auslauftrichters mit der Wandung der Trocknungszone das darunter befindliche trockene Getreide ständig entnommen würde. Dadurch würde die Lagerhöhe und so auch der Weg, den die Luft durch das Getreide zurücklegen muß, laufend abnehmen. Der Luftwiderstand müßte ebenfalls stark absinken und eine wirtschaftlichere Trocknung ermöglichen.

Dieses Verfahren setzt aber einen bei der Entnahme horizontal gleichmäßigen Abfluß des Getreides voraus, was nur durch erhöhte Aufwendungen erreicht werden könnte. Besonders aber ist der Nachteil zu werten, daß bei solchem Vorgehen die weiter oben geschilderten Vorteile der ausgleichenden Wirkung der vorgelagerten trockenen Getreideschicht entfallen.

## V. Praktische Anwendung der Belüftung

### A. Beendigung der Trocknung vor Minderung der Getreidequalität

Die im Verlauf der Trocknung auftretende scharfe Aufteilung des Kornstockes in verschieden feuchte Getreidepartien, nämlich die Abtrennung in eine trockene Kornschicht unterhalb der Trocknungszone und in eine feuchte darüber, bedeutet nach den vorigen Ausführungen zwar einerseits eine gute Ausnutzung des Wasseraufnahmevermögens der Luft, gibt aber auch andererseits Anlaß zu der erhöhten Gefahr, daß die nicht gleichmäßig mittrocknenden, sondern länger feucht bleibenden Getreideschichten einem leichteren Verderben ausgesetzt sind.

Diese besonders gefährdeten Kornpartien befinden sich im Kornstock an der Stelle, die zuletzt von der Trocknungszone erreicht wird. Da diese in der Richtung wandert, die auch die Luft durch das Getreide nimmt, bei senkrechter Durchlüftung also von unten nach oben, werden die Schichten, die unten an der Lufteintrittsstelle lagern, zuerst getrocknet und der Möglichkeit des Verderbens entzogen. Dagegen kann in den oberen Kornlagen in der Nähe des Luftaustrittes, wo zuletzt der Feuchtigkeitsentzug einsetzt, ein Schlechtwerden besonders leicht erfolgen. Dieses beginnt zwar nicht gleichzeitig mit dem Start der Trockenzone, sondern tritt erst je nach den Bedingungen mit einer gewissen Verzögerung auf (siehe Seite 17 ff.). Von den obersten Getreideschichten breitet sich dann das Verderben sehr schnell nach unten aus, bis es sich in einer bestimmten Höhe des Kornstockes mit der Trocknungsschicht trifft, die einem weiteren Vordringen des Schlechtwerdens Einhalt gebietet. Das Weiterwandern der Trocknungszone wird hierdurch jedoch nicht unterbrochen.

Während also die Trocknung eines feuchten Kornstockes von unten nach oben gerichtet ist, verläuft das Verderben des Getreides entgegengesetzt. Es findet zwischen beiden ein regelrechter Wettlauf statt. Diese Verhältnisse sind Abb. 29 zu entnehmen, welche als Beispiel der umfangreichen Versuche die Werte eines Silos wiedergibt.

In der Praxis wird es nun immer darauf ankommen, daß kein Getreide verdirbt, daß also die Trocknung in jedem Fall dem Verderben zuvorkommt und den Wettlauf gewinnt. Helfen kann hierbei nur eine Beschleunigung der Trocknung oder ein Hinauszögern des Verderbens.

### a. Beschleunigung der Trocknung

Die Zeitdauer der Gesamttrocknung ist von den im vorigen Kapitel eingehend erörterten Trocknungsfaktoren abhängig. Danach kann die Trocknung einer bestimmten, feuchten Getreidemenge in einem festliegenden Behälterraum mit Hilfe technischer Einrichtungen, die dem Menschen zur Verfügung stehen, nur beeinflusst werden, indem die stündlich durch das Getreide zu blasende Luftmenge verändert oder die Trocknungsluft aufgewärmt wird.

Es wurde aber schon weiter vorne genauer ausgeführt, daß eine Aufheizung der Luft hauptsächlich den Zweck hat, eine Klimaverbesserung bis 65 % rel. Luftfeuchtigkeit vorzunehmen, dagegen weniger eine Beschleunigung der Trocknung zu erzielen. Eine Aufheizung der Luft wird also in erster Linie dort verwendet werden, wo die Ungunst des Klimas bei Durch-

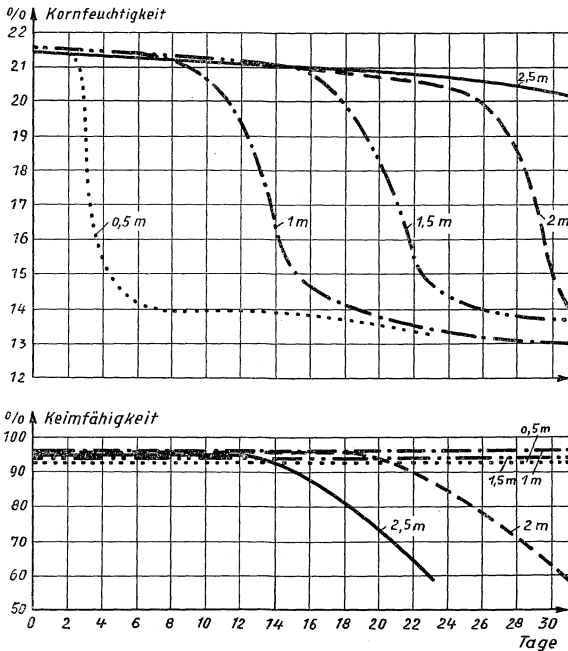


Abb. 29: Wettlauf zwischen Trocknung und Verderben  
(Beispiel aus Versuchswerten)

blasen von kalter Luft eine zu hohe Endfeuchtigkeit des Kornes ergeben würde. Zur Beschleunigung der Trocknung wird also vorzugsweise das Mittel angesetzt werden müssen, die stündliche Luftmenge zu erhöhen (siehe Seite 49), was sich durch Heraufsetzen der Gebläseförderleistung bewerkstelligen läßt. Diese Maßnahme hat eine Steigerung der Wandergeschwindigkeit der Trocknungszone zur Folge, die nun in kürzerer Zeit den Kornstock durchläuft. Die oberen Getreidepartien werden schneller von ihr erreicht und ein Verderben dieser am meisten gefährdeten Schichten verhindert. Also muß die stündlich durchgeblasene Luftmenge so groß sein, daß die Trocknung dem Verderben zuvorkommt.

Diese Überlegung hatte eine festliegende Größe und Form des Behälterraumes bzw. Kornstockes zur Voraussetzung. Wie sieht es nun aus, wenn diese geändert wird? Zweifellos würde die Trocknungszeit beschleunigt werden, wenn unter sonst gleichen Verhältnissen, vor allem also bei gleichbleibender stündlicher Luftmenge je  $m^2$  Grundfläche die Lagerhöhe verringert wird. Da aber im praktischen Einzelfall immer von einer gegebenen Getreidemenge und einem vorhandenen Gebläse ausgegangen werden muß, gibt ein Vergleich zwischen höherer und niedrigerer Lagerhöhe folgendes Bild: Bei geringerer Lagerhöhe wird die Lagerfläche entsprechend größer, wodurch nun bei gleichbleibender stündlicher Luftmenge je  $m^2$  Grundfläche (was ja Voraussetzung für die gleiche Wandergeschwindigkeit der Trocknungszone ist) ein proportionaler Anstieg der gesamt zu fördernden stündlichen Luftmenge erforderlich würde. Glücklicherweise bewirkt in diesem Falle die Eigenart der Charakteristik normaler Ventilatoren, daß tatsächlich bei unveränderter Drehzahl die Luftmenge steigt. Die Verkürzung der Weglänge der Luft durch das Korn bei gleichzeitiger Erweiterung der Grundfläche bewirkt nämlich eine starke Herabsetzung des vom Gebläse zu überwindenden statischen Druckes<sup>1)</sup> und diese wiederum (laut Charakteristik der Gebläse) eine gesteigerte Luftlieferung. Die Folge dieser Gegenläufigkeit von Luftmenge und -druck ist nun, daß die stündliche Luftmenge je  $m^2$  Grundfläche tatsächlich angenähert gleich bleibt oder sich nur wenig ändert, so daß die Trocknungszone schneller durchgewandert ist und die oberen Schichten weniger gefährdet sind. Also bedeutet praktisch die Verringerung der Lagerhöhe eine Beschleunigung der Trocknung, die auch in diesem Fall nur durch eine Zunahme der Luftmenge verursacht wird<sup>2)</sup>.

1) Die Abhängigkeit des statischen Druckes von Lagerhöhe und Windgeschwindigkeit werden in einem weiteren Kapitel über den erforderlichen Kraftbedarf näher erläutert.

2) Die Veränderung der Weglänge der Luft durch das Getreide ist aber nur bei Behältern mit senkrechter Durchlüftung möglich, dagegen nicht bei solchen mit Querbelüftung — wie es u. a. beim Zentralrohrsilo der Fall ist — da bei diesen der Luftweg durch den Abstand der Wände oder der Einbauten festliegt.

### *b. Hinausschieben des Verderbens*

Als weitere Möglichkeit, auf den Wettlauf positiv einzuwirken, sind alle Einflüsse anzusehen, die ein Verderben des Getreides hinauszögern, das heißt, den Einsatzzpunkt des Schlechtwerdens hinausschieben und diesen Prozeß verlangsamen.

Mit Erhöhung der stündlich durch das Getreide geblasenen Luftmenge wird bei guter Wasseraufnahmefähigkeit der Luft nicht nur die Abtrocknung des feuchten Kornes beschleunigt, sondern auch ein Verderben desselben zeitlich verschoben. Diese Konservierungswirkung durch verschiedene Luftmengen in der Stunde wurde bereits besprochen (siehe Abschnitt III A). Auch in den dreijährigen Versuchen seit 1950 trat dieser Einfluß in Erscheinung, daß mit Zunahme der stündlichen Luftmenge die im Kornstock zuletzt trocknenden und daher am meisten gefährdeten Getreideschichten vor dem Verderben vermehrt geschützt werden, selbst wenn diese Kornpartien während langer Zeit nur mit feuchter Luft belüftet werden und erst später trocknen.

Genau so taucht in diesem Zusammenhang die Frage auf, ob es nicht richtig ist, auch dann noch weiter zu belüften, wenn die Zuluft sich der Grenze des Feuchtigkeitsgleichgewichtes schon nähert. Sie hat dann zwar keine oder nur noch geringe trocknende Wirkung, wohl aber noch eine konservierende (siehe Seite 22). Hieraus leitet sich die Forderung ab, daß auch bei ungünstiger und nicht trocknender Witterung um so mehr belüftet werden muß, je gefährdeter und leichter verderblich das eingelagerte Getreide, also je feuchter es ist.

Aber nicht nur die stündliche Menge der Luft, sondern auch ihre Temperatur besitzt entscheidenden Einfluß auf das Schlechtwerden. Die Wirkung der Kühlkonservierung wurde jedoch schon eingehend besprochen (siehe Seite 24).

Während also die stündliche Luftmenge in beiden Richtungen, auf Trocknung und Konservierung gleichsinnig einwirkt, ist dies bei der Temperatur der Zuluft nicht der Fall. Denn warme Luft fördert wohl die Trocknung, dagegen verdirbt das feuchte Getreide schneller und umgekehrt. Auch aus diesem Grunde ist somit eine zu weitgehende Anwärmung der Belüftungsluft nicht zweckmäßig.

Nun sind aber die Aussichten, den Wettlauf zu gewinnen, besonders stark von der Einlagerungsfeuchtigkeit des Getreides abhängig, da diese sowohl die Trocknung als auch das Verderben in gleicher Richtung beeinflußt. So ist bei hohem Anfangswassergehalt des Kornes sein Schlechtwerden sehr begünstigt, es setzt früh ein und breitet sich schnell aus. Die Trocknung dagegen wird erschwert, sie geht langsam vonstatten und gewinnt nur verzögert Raum. Die Bedingungen für den Wettlauf sind wesentlich verschlechtert.



Hier müssen also beide Einflußmöglichkeiten, nämlich die Beschleunigung der Trocknung und das Hinauszögern des Verderbens in verstärktem Maße einsetzen. Das kann nur durch eine erhebliche Steigerung der stündlichen Luftmenge zum Zweck der schnelleren Trocknung und besseren Konservierung erfolgen. Außerdem ist bei einer Getreidefeuchtigkeit über etwa 20 % eine ununterbrochene Dauerbelüftung zur Konservierung zweckmäßig, ganz ohne auf die Witterungsverhältnisse Rücksicht zu nehmen. Hierdurch wird zwar nicht immer eine lohnende Trocknungswirkung, wohl aber eine Konservierung erzielt.

Ist hingegen der Anfangswassergehalt des Getreides niedriger, verderbt es nicht so schnell. Die Trocknung kann dann langsamer vorgenommen werden, einmal durch geringeren Luftdurchsatz, zum anderen durch Belüften nur in den günstigsten Tagesstunden, wenn nämlich die Witterungsverhältnisse eine gute Ausnutzung der Luft betreffs Wassermittnahme zulassen. Eine Dauerbelüftung zum Zweck der Konservierung ist dann nicht mehr nötig.

Wie lange nun im Höchstfall die Trocknung bei unterschiedlicher Kornfeuchtigkeit dauern darf, um jegliches Schlechtwerden zu vermeiden, unterliegt vielerlei weiteren Einflüssen. Aus den dreijährigen, sehr umfangreichen Versuchen, die mit verschieden feuchtem Korn, mit allen vier Getreidearten, mit unterschiedlicher Luftmenge, im Bonner Klima und im Klima des Sauerlandes usw. angestellt wurden, konnte jedoch auf genügend breiter Basis ein Bild gewonnen werden. Wie nicht anders zu erwarten war, schwankten die Ergebnisse je nach Einlieferungszustand des Getreides, nach unterschiedlichem Witterungsverlauf usw. beträchtlich. Dennoch läßt sich zusammenfassend feststellen, daß mit genügender Sicherheit für fast alle vorkommenden Fälle ein Schlechtwerden des Kornes verhindert ist, wenn bei Getreide mit 22 % Wassergehalt eine höchstzulässige Trocknungszeit von etwa zehn Tagen eingehalten wird. Diese Trocknungsdauer verringert sich jedoch auf sechs Tage für Korn mit noch höherer Feuchtigkeit<sup>1)</sup>. Dagegen ist bei geringerem Wassergehalt eine längere Trocknungszeit möglich. Die hierzu jeweils erforderlichen Luftmengen werden in einem gesonderten Kapitel behandelt (siehe Seite 78).

Nun wird in der Praxis nicht immer vollkommen totreifes Getreide eingelagert. Vielmehr muß mit der Möglichkeit gerechnet werden, vegetativfeuchtes Korn mit Hilfe der Belüftung zu behandeln. Biologisch betrachtet ist das Trocknungsverfahren mittels Belüftung für Getreide, das vor der Tотреife geerntet wurde, zweifellos natürlicher als jede scharfe Behandlung mit Warmluft<sup>2)</sup>; entspricht doch die langsame und vorsichtige Wasserentziehung

1) Diese Begrenzung der Trocknungsdauer darf allgemein angenommen werden, da in einem ungünstigeren Klima die Luft zwar kühler ist (weniger Gefahr), dafür aber das Korn im Durchschnitt feuchter anfällt (mehr Gefahr). Nach Angaben aus englischen Veröffentlichungen beträgt die Zeit, in der die Trocknung beendet sein soll, um jede Schädigung des Kornes zu vermeiden, auch zehn bis vierzehn Tage. Siehe: Bin ventilation, Agricultural Engineering Record, Spring 1947. NIAE.

2) Vergleiche: E. v. Barsewisch, Englische Stimmen zum Mährusch „Landtechnik“ 1952. Heft 4.

durch Kaltluft weitgehend dem natürlichen Vorgang, bei dem das Korn auf dem Halm oder in der Garbe der trocknenden Atmosphäre ausgesetzt ist. Außerdem wird durch die Kühlwirkung der in genügender Menge hindurchgeblasenen Luft auch eine Erwärmung dieses unreifen Getreides mit ihren schädlichen Folgen vermieden.

Rein trocknungsmäßig ergibt sich bei diesem Verfahren kaum ein nennenswerter Unterschied zwischen dem Entziehen von vegetativer oder Quellfeuchtigkeit, was durch verschiedene Untersuchungen nachgewiesen werden konnte. So wurde z. B. für einen der Vergleichsversuche Weizen in unreifem Zustand, und zwar mit 21 % Feuchtigkeit mit dem Mähdrescher geerntet. Ein Teil dieses vegetativ-feuchten Getreides mußte sofort in einem Versuchssilo eingelagert und belüftet werden. Die andere Hälfte wurde schnell durch Umschaukeln getrocknet und anschließend wieder künstlich auf den gleichen Wassergehalt angefeuchtet, um dann erst eingelagert zu werden. Bei gleicher Luftmenge ( $640 \text{ m}^3$  je Stunde und  $\text{m}^2$  Belüftungsgrundfläche) trocknete nun der vegetativ-feuchte Weizen bis 2 m Lagerhöhe in 108 Stunden, und der quellfeuchte Weizen benötigte hierfür 114 Stunden. Bei ähnlichen Vergleichsversuchen, die auch mit Hafer angesetzt wurden, ergab sich für das Entziehen von vegetativer Feuchtigkeit ein unbedeutender Mehrbedarf an Trocknungsluft. Dieser kann vielleicht dadurch auftreten, daß Getreide mit vorwiegend vegetativem Wasser eventuell einen größeren Diffusionswiderstand, was eine etwas größere Höhe der Auslaufschicht und daher eine unwesentliche Steigerung des Luftbedarfs zur Folge haben würde, oder etwas andere Gleichgewichtswerte besitzt.

Bevor jedoch nicht weitere Erfahrungen mit der Belüftung von vegetativ-feuchtem Korn vorliegen, erscheint es ratsam, besondere Vorsicht walten zu lassen. Deshalb soll derartiges Getreide möglichst in kürzerer Zeit, und zwar wie Korn mit über 22 % Wassergehalt in spätestens sechs Tagen getrocknet sein.

Weiterhin muß noch kurz auf einige, zur Vermeidung jeglicher Qualitätsminderung des Getreides wichtige Gesichtspunkte hingewiesen werden. Für eine gleichmäßige und wirtschaftliche Trocknung ist eine richtige Luftverteilung Voraussetzung. Deshalb muß an jeder Stelle des Behälterquerschnittes die gleiche Luftgeschwindigkeit herrschen. Ist dies nicht der Fall, so wandert demgemäß die Trocknungszone unterschiedlich schnell durch den Getreidestock. Da aber die zuletzt trocknende Kornpartie für die Trocknungszeit entscheidend ist, aber schon einige Zeit früher ein Teil des Getreides an der Behälteroberfläche abgetrocknet ist, würde dieses unnütz belüftet und eine schlechte Luftausnutzung verursachen. Außerdem könnte es passieren, daß sich infolge stellenweise geringerer Luftzufuhr in dem Kornstock einzelne feuchte Nester erhalten, deren Körner über kurz oder lang schimmeln und als Ausgangspunkt zum Verderben des ganzen Kornbehälters Anlaß geben können. Um dies zu vermeiden und um eine gleichmäßige Luftverteilung zu erhalten, muß die Zuführung der Trocknungsluft so eingerichtet sein, daß an den ein-

zelen Stellen der Behältergrundfläche die gleiche stündliche Luftmenge in das Getreide eintreten kann. Auch ist darauf zu achten, daß die Weglänge der Luft durch das Korn überall dieselbe ist. Deshalb muß nach dem Füllen des Siloraumes die Getreideoberfläche sogleich eingeebnet werden. Ferner sind Fußtritte auf der Getreideoberfläche zu vermeiden, damit keine örtliche Verdichtungen in der Getreideschüttung entstehen.

Gefördert wird die Nesterbildung ebenfalls durch Getreide, das teilweise durch starken Unkrautbesatz oder sonstige Beimengungen verunreinigt ist. Diese hemmen erheblich den Durchfluß der Luft, die dann auf dem Wege des geringsten Widerstandes unter Umgehung dieser Nester in einzelnen Kanälen ungleichmäßig durch das Getreide hindurchströmt, was zu den oben angegebenen unliebsamen Folgen führen kann. So ist auch aus diesem Grunde vor der Einlagerung eine Reinigung des unsauber geernteten Mähdruschgetreides erwünscht.

Eine weitere Gefahr besteht noch, wenn an der Oberfläche des Kornstockes eine Kondensation der Luft eintritt. Wenn diese nämlich beim Passieren des Getreides mit Feuchtigkeit beladen an der Luftaustrittsfläche mit kälterer Luft zusammenstößt, kann sie unter Umständen bis unter ihren Taupunkt abgekühlt werden, was eine Wasserabgabe an das Getreide zur Folge haben muß. Diese Kondensation tritt allerdings nur dann auf, wenn die Windgeschwindigkeit der austretenden Luft so niedrig ist, daß sie sich sofort nach Verlassen des Getreides mit kalter Luft vermischt und nicht erst langsam in einiger Entfernung von der Getreideoberfläche<sup>1)</sup>.

Um dieser Gefahr aus dem Wege zu gehen, deckt man zweckmäßig das Getreide mit einer isolierenden Schicht von Stroh oder ähnlichem Material ab. Oder aber der Silobehälter wird mit einem Deckel, in dem sich ein Loch befindet, versehen und dadurch die Berührung der Abluft mit der kühleren Außenluft im Siloraum verhindert. Die gleiche Wirkung wird auf einem Schüttboden bei niedriger Decke durch Öffnen einer Fensterluke erreicht. Unumgänglich sind diese Maßnahmen wegen der erhöhten Gefährdung durch Kondensation besonders dann, wenn die zur Trocknung verwandte Luft künstlich angewärmt ist.

Abschließend kann also gesagt werden, daß zur Vermeidung jeglichen Schlechtwerdens neben den vorhin erwähnten Gesichtspunkten in der Hauptsache die stündlich durch das Getreide geblasene Luftmenge entscheidend ist. Ihr größter Einfluß beruht — von der Konservierungswirkung abgesehen — auf der Begrenzung der Trocknungszeit. Diese wird aber nicht nur durch die Menge an Luft, sondern auch durch ihre Trocknungseigenschaft bestimmt, also durch die Witterungsverhältnisse. Da diese Abhängigkeit besondere Bedeutung hat, soll im folgenden noch näher auf die Bedingungen eingegangen werden, die die Witterung auf die Belüftung ausübt.

---

1) Die Windgeschwindigkeit der Abluft ist besonders bei dem auf Seite 54 in Fußnote angeführten Belüftungssystem mit Zentralrohr sehr gering, so daß hier der Kondensationsgefahr besondere Beachtung geschenkt werden muß. Eine Abhilfe an der in diesem Fall sehr großen Luftaustrittsfläche erscheint für die Praxis allerdings sehr schwierig.

## B. Bedeutung des Klimas

Die Anwendung der Belüftung fällt fast ausnahmslos in die Zeit kurz nach der Körnerernte. Die dann herrschenden Witterungsverhältnisse sind ausschlaggebend für die Erzielung einer Trocknung und für die Berechnung der benötigten Luftmengen und machen gegebenenfalls sogar eine Verbesserung des Klimas durch Anwärmung der Belüftungsluft notwendig.

Nun tritt natürlich die Frage auf, mit welchen Werten und Kenndaten der Trocknungseigenschaft der Luft gerechnet werden muß, das heißt, mit welcher Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit. Diese Werte unterliegen aber im Verlauf des Tages und des Jahres gewissen Schwankungen und weichen außerdem je nach der geographischen Lage voneinander ab. Dadurch wird die Planung und praktische Handhabung der Belüftung sehr erschwert und kompliziert. Auf diese Klimaschwankungen und -unterschiede mit ihrer Auswirkung auf die Belüftung soll näher eingegangen werden.

### a. Tag- und Nachtschwankungen

Die Trocknungsfähigkeit der Luft bleibt während des Tages und der Nacht nicht konstant; meistens herrscht in der Mittagszeit niedrige rel. Luftfeuchtigkeit und hohe Temperatur, wogegen in den Nachtstunden die Luft feucht und kühl ist. Wenn die absolute Luftfeuchtigkeit den gleichen Wert behält, verändern sich die Temperatur und rel. Luftfeuchte gegenläufig, und zwar nach der Gesetzmäßigkeit, die sich an Hand des Mollier'schen Diagrammes ablesen läßt (siehe Seite 34). Als Beispiel ist in Abb. 30 ein solcher Verlauf der Witterungsschwankungen während einiger Tage aufgetragen.

Ganz deutlich tritt dabei hervor, daß das Wasseraufnahmevermögen der Luft in den Mittagsstunden seinen Höchstwert besitzt, zur Nachtzeit hin aber sehr stark abfallen muß, ja sogar den Nullwert erreichen kann. Diese Verhältnisse werden aber erst richtig klar, wenn sie in ihrer Auswirkung auf den Trocknungserfolg betrachtet werden. So ist aus der vierten Kurve die wirkliche Wassermittnahme der Luft für Getreide von 20 % Feuchtigkeitsgehalt abzulesen<sup>1)</sup>. Hiernach trocknet dieses Korn bei einem Vergleich der ein- und ausströmenden Luft mittags sehr intensiv, wogegen nachts kaum noch eine Trocknung, manchmal sogar ein Anfeuchten erfolgt. Jedoch kann

---

1) Es sind hierbei die Gleichgewichtswerte zugrunde gelegt nach: K. Seidel in K. Mohs, a. a. O.

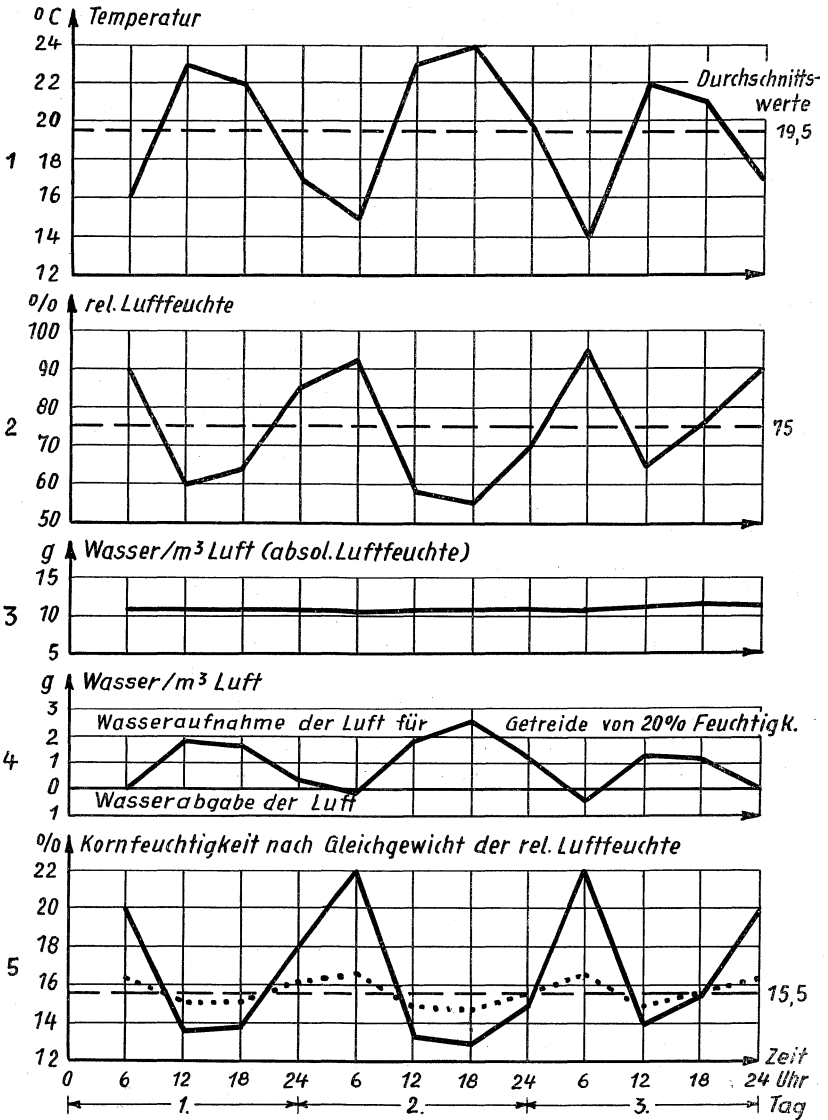


Abb. 30: Tag- und Nachtschwankungen der Witterung (schematisiertes Beispiel)

infolge der nachts meist herrschenden kühleren Temperaturen nur eine kleinere Wassermenge an das eingelagerte Getreide abgegeben werden.

Nun besteht aber bei der Belüftung eine Schichtung der Getreidefeuchtigkeit innerhalb des Behälters. Nach einer gewissen Zeit ist an der Luft Eintrittsstelle das Korn abgetrocknet und unterliegt hier der auf Seite 56 beschriebenen Pufferwirkung. Das bedeutet, daß die Schwankungen der rel. Luftfeuchtigkeit von dieser untersten Schicht aufgefangen werden. Demgemäß muß ihr Wassergehalt in gewissen Grenzen laut Gleichgewicht der rel. Luftfeuchtigkeit folgen, wie die fünfte Kurve der Abb. 30 darstellt. Ob die Schwankungen der Getreidefeuchtigkeit jedoch so heftige sind, mag bezweifelt werden, da das Korn ja eine gewisse Zeit braucht, um sich auf den Gleichgewichtswert einzustellen. Vielmehr wird die Kornfeuchtigkeit in etwa nach der eingezeichneten punktierten Kurve verlaufen<sup>1)</sup>. Der Ausgleich der rel. Luftfeuchtigkeit infolge der Pufferwirkung ergibt jedoch in den höheren Getreideschichten letztlich einen Wassergehalt, der etwa dem Durchschnittswert dieser Schwankungen gleichkommt. Also entspricht der zu erzielende Trocknungsgrad, der Endwassergehalt des behandelten Getreides ungefähr diesen Tagesdurchschnittswerten der rel. Luftfeuchtigkeit. (Siehe Abb. 30: Die durchschnittliche rel. Luftfeuchtigkeit von 75 % müßte einen Durchschnittswassergehalt des Getreides von 15,5 % ergeben.) Hierbei ist zur Vereinfachung in der Praxis das Ausmaß der Schwankungen zu vernachlässigen und nur die Durchschnittswerte sind in Anschlag zu bringen<sup>2)</sup>.

Ebenso müssen vorläufig, nämlich bevor eine letzte Erforschung der Zusammenhänge abgeschlossen ist, bei einer Berechnung der zum Trocknen benötigten Luftmenge die Tagesdurchschnittswerte der Temperatur und der rel. Luftfeuchtigkeit herangezogen werden. Ob sie genau dem vorausberechneten Trocknungserfolg entsprechen, mag dahingestellt bleiben. Auch hier wird die Höhe der Schwankungen einen Einfluß ausüben. Jedoch dürfte es für die Praxis unwichtig sein, diese letzten Feinheiten zu berücksichtigen, weil sowieso keine exakten Angaben über die nach der Ernte herrschenden Witterungsverhältnisse zu erwarten sind.

---

1) Bei verschiedenen Versuchssilos wurden derartige Feuchtigkeitsschwankungen der unteren Schichten gemessen, und zwar in einer Höhe von 20 cm von der Luft Eintrittsstelle an. Aus verustechnischen Gründen war es leider nicht möglich, Getreideproben für die Wassergehaltsbestimmung aus der untersten Kornschicht, also direkt über dem Siebboden zu entnehmen.

2) Streng gesehen kann die zu erzielende Endfeuchtigkeit des Getreides nur dann der durchschnittlichen rel. Luftfeuchtigkeit genau entsprechen, wenn die zugehörige Gleichgewichtskurve vollkommen geradlinig verlaufen würde und wenn die Temperatur konstant wäre. Da diese besonders für das Trocknungspotential der Luft und damit für ein mehr oder weniger schnelles Erreichen des Gleichgewichtspunktes verantwortlich ist, spielen auch ihre Schwankungen eine Rolle, die sich meistens gegenläufig zur rel. Luftfeuchtigkeit bewegen. Hierdurch üben bei hoher Temperatur die niedrigen Werte der rel. Luftfeuchtigkeit eine größere Wirkung aus als im umgekehrten Fall. Aus diesem Grunde muß der Durchschnittswassergehalt des Getreides etwas niedriger liegen als er dem Durchschnittswert der rel. Luftfeuchtigkeit laut Gleichgewicht entspricht. Auch das Ausmaß der Schwankungen hat in diesem Zusammenhang Bedeutung.

### b. Unterschiede im Jahr

Außer diesen Tagesschwankungen verändern sich die Wettereigenschaften noch mit dem Ablauf des Jahres. Die für die Belüftung in Frage kommende Zeit nach der Ernte liegt leider nicht in einem Bereich, in dem die Witterung in etwa konstant bleibt, sondern sie befindet sich im ausgehenden Sommer. Das bedeutet, daß sich die Trocknungsfähigkeit der Luft mit längerer Belüftung in den Herbst hinein wesentlich verschlechtert, was aus dem Beispiel in Abb. 31 zu entnehmen ist. Die Tagesdurchschnittstemperatur sinkt im Verlauf des Herbstes schnell ab, und die durchschnittliche rel. Luftfeuchtigkeit steigt an, da die Tage kürzer und die Sonneneinstrahlung geringer werden.

Der Einsatz der Belüftung ist nun in einem bestimmten Klimagebiet vom Erntezeitpunkt abhängig, der durch die phänologischen Daten gegeben ist. Die frühe Ernte der Gerste erleichtert die Trocknung mittels atmosphärischer Luft, wogegen die späte Haferernte oft schon eine Anwärmung der Trocknungsluft zum Zweck der Klimaaufbesserung notwendig macht. Praktisch müßte dann der Mittelwert der Witterung, die in der Zeitspanne von der Einlagerung bis zum Abschluß der Trocknung einer jeden Getreideart herrscht, für die Wahl der richtigen stündlichen Luftmenge zugrunde gelegt werden (siehe Abb. 31).

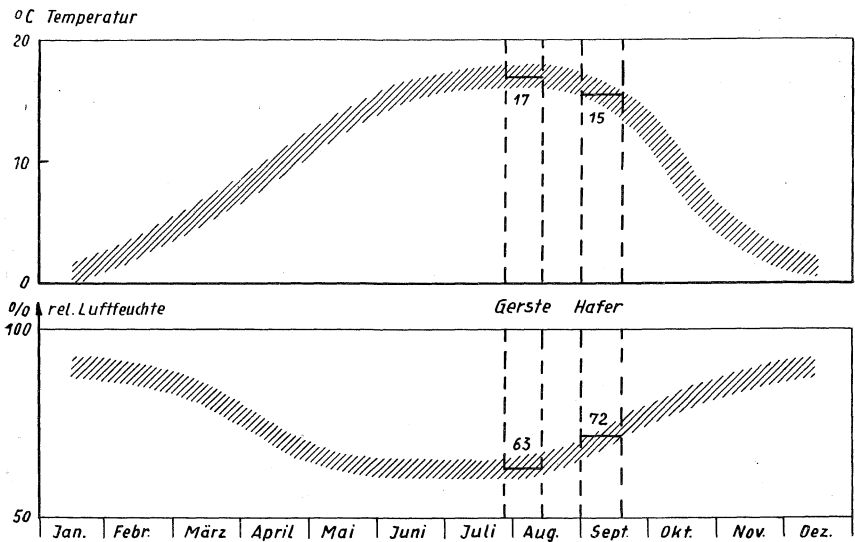


Abb. 31: Witterungsschwankungen während des Jahres, Tagesdurchschnittswerte (schematisiertes Beispiel)

Diese Durchschnittswerte der Tagesschwankungen der Temperatur und der rel. Luftfeuchtigkeit während des Jahresablaufes sind nun keineswegs immer gleich. Vielmehr stellen sie schon den Mittelwert vieler Jahre dar, innerhalb derer auch wiederum erhebliche Schwankungen auftreten. So ergibt sich in Wirklichkeit ein mehr oder weniger breites Band von Werten, die im Verlauf der einzelnen Jahre gewissen Streuungen unterworfen sind (siehe Abb. 31). Ist nun dieses Band der Streubreiten ziemlich schmal, was ein über viele Jahre ausgeglichenes Klima bedeutet, dann ist eine Festlegung der Durchschnittswerte für die Trocknung verhältnismäßig einfach. Ein breites Band zeigt aber erhebliche Schwankungen der Witterungsverhältnisse innerhalb der Jahre an, wodurch eine sichere Belüftung sehr erschwert wird und zu besonderen Vorsichtsmaßnahmen zwingt, wie derjenigen der Lufterwärmung.

So bleibt auch bei den Jahresdurchschnittsdaten nichts anderes übrig als mit dem Mittelwert der Streubreiten zu rechnen und gegebenenfalls, je nach der Breite der Streuungen der Einzelwerte, einen gewissen Zuschlag als Sicherheitsfaktor für wetterungünstige Jahre mit einzubeziehen, oder als Reserve eine Heizvorlage vorzusehen.

### *c. Verschiedene Klimagebiete*

Außer diesen aufgezählten, an einem bestimmten Ort auftretenden Schwankungen sind noch erhebliche Unterschiede im Klima der einzelnen Landstriche zu verzeichnen. Dieses tritt jedoch so vielgestaltig auf, daß ein näheres Eingehen auf diesbezügliche Einzelheiten den Rahmen dieser Arbeit weit überschreiten würde. Um aber die Bedeutung des Klimas im Zusammenhang mit der Belüftung anzudeuten, sei noch kurz die veränderte Bedingung beim Übergang von einem trockenen in einen feuchten Klimabereich — z. B. in Höhenlage — geschildert (siehe Abb. 32).

Mit ungünstiger werdenden klimatischen Verhältnissen verschlechtern sich sämtliche Voraussetzungen für die Behandlung des Getreides mit atmosphärischer Luft. Einmal fällt infolge feuchter Witterung das Getreide mit wesentlich höherem Wassergehalt an. Zum andern liegt dieser besonders deshalb noch über dem gewöhnlichen Maß, weil die Ernte durch die Verschiebung der phänologischen Daten in eine fortgeschrittene Jahreszeit fällt. Daraus ergibt sich eine Verschlechterung sowohl der Wetter- wie auch der Erntebedingungen. Dieses feuchtere Getreide muß aber in einer kürzeren Zeit getrocknet werden, da es schneller verdirbt. Außerdem sind ihm größere Wassermengen zu entziehen, was wiederum eine Erschwernis bedeutet. Die Trocknungsfähigkeit der Luft wiederum ist aus zwei Gründen eine viel geringere; erstens liegen die Durchschnittswerte der rel. Luftfeuchtigkeit und Temperatur sowieso ungünstiger und zweitens verlagern sich diese Werte abermals zur schlechteren Seite, da die



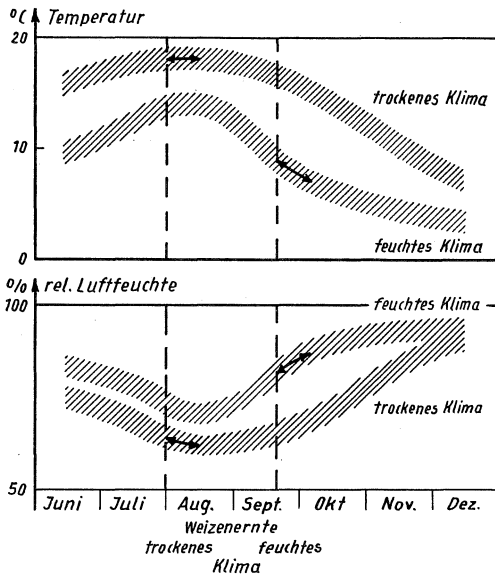


Abb. 32: Unterschiedliche Klimagebiete (schematisiertes Beispiel)

Erntezeit und die sich daran anschließende Belüftung (siehe Pfeile in Beispiel 32) später liegen. Diese Luft vermag also infolge sehr geringen Trocknungsvermögens nur wenig Wasser zu entziehen. Sie wird sogar unter Umständen gar keine Trocknung zulassen, nämlich wenn ihre rel. Luftfeuchtigkeit laut Gleichgewicht zu hoch liegt.

So ist die Grenze für eine Trocknung des feucht geernteten Kornes mit Hilfe atmosphärischer Luft bald mit der Verschlechterung der Klimabedingungen erreicht. Hier kann nur in zwei Richtungen ausgewichen werden: Entweder wird die Belüftungsluft künstlich angewärmt, um ihre Trocknungsfähigkeit zu verbessern, oder aber die Kühlkonservierung kann eventuell an diesen Orten das Getreide vor dem Verderben retten; denn auf die Haltbarkeit des feuchten Getreides wirkt sich hier die niedrige Temperatur günstig aus.

Die Auswirkungen dieser großen Unterschiede und Schwankungen des Klimas auf die Trocknung von feuchtem Getreide sind also sehr bedeutend. Bei den Witterungsschwankungen muß vorläufig mit einem gewissen Durchschnittswert gerechnet werden. Außerdem zwingen die Klimaunterschiede zur Anwendung verschieden großer Luftmengen, um die Trocknung in der zur Verfügung stehenden Zeit durchführen zu können. Aus den Tabellen auf Seite 79 können die zu den Durchschnittswerten der Witterung gehörenden Luftmengen bei den verschiedensten Klimawerten abgelesen und gegebenenfalls die Wirkung einer nötigen Anwärmung und der sich daraus in Verbindung mit Abb. 10 ergebende Übergang zu einem besseren Klima vorausgerechnet werden.

Für eine breite Anwendung der Belüftung ist es jedoch noch wichtig, daß diese Klimadaten für die einzelnen Landstriche bekannt sind. Wenn auch eine genaue Aufstellung solcher Werte, die auf langjährigen meteorologischen Aufzeichnungen fußen und auf die Belüftung zugeschnitten sind, bisher fehlt, so konnte jedoch eine Übersicht der für die Belüftung wichtigen klimatischen Verhältnisse für Westdeutschland in einer Klimakarte zusammengestellt werden<sup>1)</sup>. Die hierin erfolgte Einteilung in Klimazonen gibt einen groben Überblick, mit welchem Anteil von feuchtem Getreide in den einzelnen Landstrichen im Durchschnitt zu rechnen ist, das nachgetrocknet werden muß, und wo und auf welche Art eine Anwärmung der Belüftungsluft ratsam erscheint.

Ferner bedarf für die Handhabung der Belüftung in der Praxis die Frage nach den Belüftungszeiten, wann also, je nach den täglichen Witterungsschwankungen ein- oder ausgeschaltet werden muß, noch eingehender Untersuchungen. Im folgenden sei jedoch schon einiges hierüber ausgeführt.

### C. Auswahl der richtigen Belüftungszeit

Die Auswahl der richtigen Belüftungszeiten in Abhängigkeit von der Witterung darf nicht rein gefühlsmäßig oder gar willkürlich sein, sondern muß, um eine wirtschaftliche Trocknung zu erzielen und um eine Schädigung des feuchten Kornes zu vermeiden, nach bestimmten Regeln und Gesetzmäßigkeiten erfolgen. Diese Maßnahmen müssen zudem auf die bäuerliche Praxis zugeschnitten sein, also in ihrer Anwendung und Handhabung einfach und zuverlässig sein. Nachfolgend sollen die dabei auftretenden Schwierigkeiten und die Möglichkeiten für ihre eventuelle Lösung näher besprochen werden.

Nicht nur die Witterungsverhältnisse sind für die Belüftungszeiten maßgebend sondern auch der Wassergehalt des eingelagerten Getreides. Wenn nämlich z. B. die Luft 80 % rel. Feuchtigkeit besitzt, vermag sie wohl Getreide mit 22 % Wassergehalt noch zu trocknen, aber nicht mehr solches mit 16 %. Also ist das für eine Trocknung zweckmäßige Ein- und Ausschalten der Belüftung abhängig von dem Wassergehalt des Getreides und dem ihm entsprechenden Gleichgewichtswert der Luftfeuchtigkeit. Hierbei ist vorausgesetzt, daß die Temperatur der Belüftungsluft gleich der des Getreides ist.

Außer den für die Trocknung nützlichen Belüftungszeiten hängen diese aber auch noch von der Notwendigkeit ab, das Getreide durch Lufterneuerung vor dem Verderben zu schützen, und zwar um so mehr, je feuchter

---

1) A. Köstlin und Voigt, Einteilung des Bundesgebietes in Klimazonen. In: Dencker, Heidt, Wenner, Einrichtungen auf dem Hofe zur Lagerung und Trocknung von Erntedruschgetreide. München, Wolfratshausen, 1954. Verlag Neureuter.

das eingelagerte Korn ist. Dies kann sogar dazu führen, daß ohne Rücksicht darauf, ob eine Trocknung oder ein Anfeuchten erfolgt, ununterbrochen Tag und Nacht durchbelüftet werden muß.

Hieraus ergeben sich zwei grundsätzlich unterschiedliche Belüftungsverfahren: Das Belüften ohne Unterbrechung und die absatzige Belüftung.

### *a. Belüftung ohne Unterbrechung*

Solange das eingelagerte Getreide 20 % und mehr an Feuchtigkeit besitzt, ist in jedem Fall ein fortwährendes Belüften ohne jegliches Unterbrechen geboten. Selbst dann scheint diese Dauerbelüftung noch angebracht, wenn infolge der Schichtung der Getreidefeuchtigkeit im Verlauf der Trocknung weit über die Hälfte des Kornstockes bereits abgetrocknet ist. Lediglich erst in der letzten Phase, wenn in der obersten Getreideschicht der Wassergehalt langsam unter 20 % abzufallen beginnt, ist ein absatzweises Belüften nach den besten Tageszeiten zweckmäßig.

Diese Dauerbelüftung solch feuchten Kornes ist schon allein durch die hiermit erreichte Konservierungswirkung begründet. Zudem erfolgt fast immer eine Trocknung, da — laut Gleichgewicht — einer Getreidefeuchtigkeit von 20 % eine rel. Luftfeuchtigkeit von 90 % entspricht. Dieser Wert wird infolge der Witterungsschwankungen verhältnismäßig selten und kurzzeitig von der in das Getreide geblasenen Luft überschritten. Selbst wenn dieser Zustand länger anhalten sollte, würde das Getreide — insgesamt betrachtet — doch nur in geringem Maße angefeuchtet, weil sogar feuchtigkeitsgesättigte Luft bis zum Gleichgewichtswert von 90 % rel. Feuchtigkeit nur wenig Wasser an das Korn abgeben kann (verglichen ein- und austretende Luft). Zudem wird diese Feuchtigkeit infolge der Pufferwirkung in den nicht vom Verderben gefährdeten unteren Kornschichten abgelagert, während in den oberen, vom Schlechtwerden bedrohten Kornpartien weiterhin eine Trocknung erfolgt.

Diese Regel, daß bei über 20 % Getreidefeuchtigkeit Dauerbelüftung am Platze ist, gilt auch für den Fall, daß die Luft angewärmt wird. Die Trocknungszeit wird damit, wie früher ausgeführt wurde (siehe Seite 30), zwar ein wenig abgekürzt, also die Gefahr des Schlechtwerdens der oberen Schicht etwas verringert. Diese Wirkung wird aber sicher aufgewogen durch die Tatsache, daß die nun ein wenig höhere Temperatur eine höhere Gefährdung bedeutet.

## *b. Absätzig e Belüftung*

Besitzt das eingelagerte Getreide weniger als 20% Feuchtigkeit, dann ist ein absätziges Belüften angebracht. Für dieses müssen die günstigsten Tagesstunden ausgewählt werden, damit ein guter Trocknungserfolg erzielt wird. Diese zeitweise Durchlüftung genügt in den meisten Fällen auch zur Frischhaltung des Getreides; denn das nicht sehr feuchte Korn verdirbt ja weniger leicht, so daß die Bedeutung der Konservierung mehr in den Hintergrund tritt. Lediglich dann, wenn die Witterung längere Zeit für eine Trocknung zu ungünstig ist, muß je nach der Getreidefeuchtigkeit zur Konservierung und zur Beseitigung eventueller Temperaturerhöhungen öfters durchgelüftet werden.

Das absätziges Belüften bezweckt also hauptsächlich eine gute Trocknungswirkung. Aus diesem Grunde sollen die günstigsten Belüftungszeiten je nach der herrschenden Witterung ausgesucht werden. Dabei kommt es darauf an, daß die rel. Luftfeuchtigkeit der eintretenden Luft unter dem der Feuchtigkeit des eingelagerten Getreides entsprechenden Gleichgewichtswert liegt, da ja andernfalls ein Anfeuchten erfolgen würden. Somit kann die Beurteilung, ob die Belüftung zweckmäßig ist, dadurch erfolgen, daß die rel. Luftfeuchtigkeit der vom Gebläse angesaugten Luft gemessen und mit derjenigen, die nach Abb. 6 der Kornfeuchtigkeit entspricht, verglichen wird. Es ist aber auch möglich, die rel. Luftfeuchtigkeit der den Kornstock verlassenden Luft festzustellen und mit der einströmenden Luft zu vergleichen.

Die nach diesen Ausführungen auf den ersten Blick in ihrer Anwendung leicht erscheinende Durchführung der zeitweisen Belüftung bietet jedoch eine Schwierigkeit, die dieses Verfahren für die bäuerliche Praxis kompliziert macht. Durch die Unterbrechung der Luftzufuhr entstehen nämlich Temperaturdifferenzen zwischen Getreide und Außenluft, wodurch die Beurteilung eines zweckmäßigen Wiedereinschaltens der Belüftung außerordentlich erschwert wird.

Das Getreide behält lange Zeit die Temperatur bei, die es während des Ausschaltens des Ventilators besaß. Dagegen bleibt die Temperatur der Außenluft nicht auf dem gleichen Wert stehen, sondern schwankt je nach Witterung und Tageszeit. Wenn nun bei unterschiedlichen Temperaturen die Belüftung in Gang gesetzt wird, muß sich die rel. Luftfeuchtigkeit der einströmenden Luft so lange laut Mollier-Diagramm auf den der Getreidetemperatur entsprechenden Wert einstellen, bis sich beide Temperaturen wieder angeglichen haben<sup>1)</sup>. In dieser Zeit kann jedoch unter gewissen Umständen ein Anfeuchten des Getreides eingetreten sein, obwohl die rel. Luftfeuchtigkeit der Außenluft niedriger war als diejenige gemäß der Kornfeuchtigkeit. Dies soll an einem Beispiel näher erklärt werden.

---

1) Das Getreide selbst wirkt dann eine gewisse Zeit als Wärme- oder Kühlvorlage und erzeugt dadurch selbst eine Klimaverbesserung oder -verschlechterung (ähnlich der Pufferwirkung auf die Kornfeuchtigkeit).

Die Getreidetemperatur betrage  $13^{\circ}\text{C}$  seit dem Abschalten des Gebläses (am Abend) und die Kornfeuchtigkeit der obersten Schicht 16 %, was einer rel. Luftfeuchtigkeit der Abluft von 78 % entspricht. Nun soll eine Luft von nur 70 % rel. Luftfeuchtigkeit, aber  $20^{\circ}\text{C}$  (mittags) in den Kornstock eingeblasen werden. Daraufhin geschieht folgendes: Die Zuluft kühlt sich am Getreide auf  $13^{\circ}\text{C}$  ab, wodurch automatisch ihre rel. Luftfeuchtigkeit steigt, und zwar über den Wert der möglichen Sättigung hinaus: es tritt Taubildung am Getreide ein. Dieses absorbiert außerdem noch bis zu 78 % rel. Luftfeuchtigkeit Wasser aus der Luft. Somit wird mit jedem Kubikmeter Luft der Kornstock mit 1,7 g Wasser angefeuchtet, obwohl die Abluft mit 8 % rel. Luftfeuchtigkeit mehr als die Zuluft entweicht. Diese Wasserablagerung am Getreide wird in dem Maße geringer, wie die Temperaturangleichung — also die Anwärmung des Kornstockes — fortschreitet, bis schließlich eine Trocknung einsetzt. Um jedoch von vornherein eine Trocknungswirkung zu erreichen, hätte die Zuluft bei  $20^{\circ}\text{C}$  eine rel. Luftfeuchtigkeit von weniger als 50 % haben müssen.

Somit kann die Beurteilung der Belüftung an Hand der rel. Luftfeuchtigkeit leicht zu Trugschlüssen führen. Sollen diese vermieden werden, so muß man zusätzlich noch die Temperatur der Zuluft und die des Getreides messen. Erst dann ist mittels eines Mollier-Diagrammes eine zuverlässige Entscheidung über die Zweckmäßigkeit der Belüftung möglich.

Ein solches Vorgehen hat den Vorteil, den Erfolg der durchzuführenden Belüftung im voraus feststellen und dadurch eine Wasserablagerung am Getreide vermeiden zu können; jedoch ist es für den Laien viel zu kompliziert und kommt für eine Handhabung in der bäuerlichen Praxis nicht in Frage. Zwar kann an Stelle des Mollier-Diagrammes eine einfachere Belüftungstabelle benutzt werden<sup>1)</sup>. Doch dürfte dieses Verfahren noch immer für die bäuerliche Praxis nicht geeignet sein, denn neben der Benutzung einer Tabelle ist das Messen der zwei Temperaturen und mindestens noch der rel. Luftfeuchtigkeit der Ansaugluft in der Hand eines Laien mit zu vielen Schwierigkeiten verbunden.

Erschwerend kommt außerdem noch hinzu, daß die Belüftung nach diesem System nicht mehr so schnell in Gang gesetzt werden kann, wenn nach einer nächtlichen Unterbrechung am folgenden Morgen der oft nur ganz kurzzeitige Anschluß der Außenlufttemperatur an diejenige des Getreides verpaßt wurde. Noch schlimmer wirkt sich dieses strenge Vorgehen zum Zweck des richtigen Ein- und Ausschaltens des Gebläses in dem Falle aus, wo an einem äußerst kühlen Abend die Belüftung unterbrochen wurde (siehe obiges Beispiel<sup>2)</sup>); wird

---

1) Sie wurde zuerst von Seidel aufgestellt (K. Seidel in K. Mohs a. a. O.). Außerdem erschienen Belüftungsanweisungen als graphische Darstellung von O. F. Theimer, Hilfstafel zur Belüftung von gelagertem Getreide, „Deutsche Müllerzeitung“, Heft 2, München 1951 und als praktischere Drehtabelle von A. Hering A.G., Nürnberg: Belüftungsprüfer für Getreidespeicher.

2) Das Ausschalten des Gebläses erfolgt erst dann, wenn die oberste Getreideschicht langsam in der Temperatur sinkt — die Luft entweicht solange mit mehr Wasser als zugeführt wird — und nicht schon beim Temperaturabfall der unteren Kornpartien. Also ist fast das ganze Getreide bis zu einem Wert abgekühlt worden, der eigentlich nicht mehr dem für eine zweckmäßige Trocknung entspricht. Dennoch besteht bis dahin ein Trocknungserfolg infolge des Nachhinkens der Temperatur der obersten Kornlagen.

am folgenden Morgen oder später nicht eine sehr günstige Lufttrockenheit und gleich niedrige Temperatur erreicht, kann nach Befolgen des exakten Belüftungsschemas das Gebläse unter Umständen während vieler Tage nicht mehr eingeschaltet werden <sup>1)</sup>. Dieser Nachteil, der von der Schichtung der Temperaturen in der Getreidesäule herrührt, wird bei jedem exakten Verfahren, die Belüftungszeiten genau nach der Trocknungswirkung zu bestimmen, bestehen bleiben.

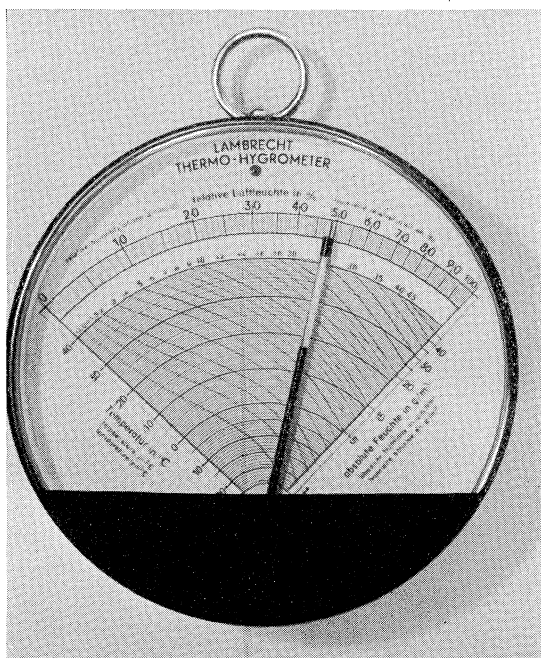


Abb. 33: Thermohygrometer zum Messen der absoluten Luftfeuchtigkeit

In der Praxis ist also öfters damit zu rechnen und in Kauf zu nehmen, auch einmal geringe Wassermengen zunächst in den Kornstock hineinzupumpen, um dann anschließend weiter trocknen zu können. Hierbei noch die Belüftungszeiten im voraus nach dem oben beschriebenen komplizierten Schema angeben zu wollen, dürfte wohl keinen Sinn haben. Vielmehr muß, da sowieso nicht starr zu verfahren ist, nach einer einfacheren Methode Ausschau gehalten werden.

<sup>1)</sup> Also hätte die Belüftung früher unterbrochen werden müssen, bevor der Kornstock so tief heruntergekühlt war.

Als weitere Möglichkeit bietet sich die Belüftung nach der absoluten Luftfeuchtigkeit an. Wird der Wassergehalt der vom Gebläse angesaugten Luft mit demjenigen der aus dem Getreide austretenden verglichen, so ist leicht zu beurteilen, ob durch die Belüftung eine Trocknung oder Anfeuchtung des Kornes erfolgt und in welchem Maße.

Eine exakte Feststellung des Wassergehaltes der Luft, also ihre absolute Feuchtigkeit, ist aber nicht einfach und an komplizierte Instrumente (Psychrometer) gebunden, die für die ländliche Praxis nicht geeignet sind. Jedoch werden mit einem einfachen Thermohygrometer, welches aus einem kombinierten Hygrometer und Thermometer besteht und ein direktes Ablesen der absoluten Luftfeuchtigkeit gestattet, auch einigermaßen brauchbare Resultate erzielt (siehe Abb. 33)<sup>1)</sup>. Die Handhabung dieses Instrumentes ist zudem verhältnismäßig einfach. Zumindest kann es vor einem allzu starken Anfeuchten des Getreides schützen.

Sollen zur letzten Vereinfachung alle diese Meßverfahren umgangen werden, so können folgende allgemeine Regeln die Grundlage für das Auswählen der richtigen Belüftungszeiten bilden:

**Sehr feuchtes Getreide** (über 20 % Wassergehalt) **muß**

bei jedem Wetter ununterbrochen (auch nachts)  
(Trocknung und Konservierung)  
belüftet werden, bis die oberste Schicht zu trocknen beginnt.

**Mittelfeuchtes Getreide** (ungefähr 18 % Wassergehalt) **soll**

bei trockener Witterung während der taufreien  
Tagesstunden (Trocknung)  
bei feuchtem Wetter täglich mindestens zweimal  
eine Stunde (Konservierung)  
belüftet werden.

**Fast trockenes Getreide** (unter 16 % Wassergehalt) **soll**

bei trockener Witterung während der taufreien  
Tagesstunden (Trocknung)  
bei feuchtem Wetter mindestens alle zwei Tage  
eine Stunde (Konservierung)  
belüftet werden.

---

<sup>1)</sup> Nach diesem Instrument wurde die Belüftung in der Ernte 1952 auf mehreren landwirtschaftlichen Betrieben zur Zufriedenheit durchgeführt. Allerdings wäre es zu begrüßen, wenn die Industrie bessere Geräte als bisher entwickeln würde.

## D. Erforderliche Gebläseleistung

### a. Benötigte Luftmenge

Zur Belüftung des Getreides wird je nach den verschiedenen Verhältnissen eine bestimmte stündliche Menge an Luft gebraucht, um dem feucht eingelagerten Korn bis zur Grenze des Möglichen das Wasser zu entziehen. Ist diese erforderliche Luftmenge bekannt, dann läßt sich der Trocknungserfolg im voraus berechnen und eine Belüftungsanlage planen; denn eine richtige Dimensionierung des Belüftungsgebläses kann u. a. nur nach Bekanntsein der verlangten Luftfördermenge vorgenommen werden.

In Tab. 1 und 2 sind für unterschiedliche Ausgangsbedingungen Werte über den zur Trocknung benötigten Luftbedarf angegeben. Sie wurden auf Grund der Versuchsergebnisse und der in den vorigen Kapiteln geschilderten Zusammenhänge, sowie mit Hilfe des IX-Diagrammes und der Gleichgewichtskurve bestimmt<sup>1)</sup>.

Die wiedergegebenen Zahlen der stündlichen Luftmengen beziehen sich auf 1 m<sup>3</sup> Getreide, also auf 1 m<sup>3</sup> gefüllten Siloraum<sup>2)</sup>, wobei es gleichgültig ist, welche Form der Behälter besitzt (siehe Seite 54). Wird jedoch die zum Trocknen eines dz Getreides erforderliche Luftmenge verlangt, dann müssen die Luftmengenwerte durch das Schüttgewicht dividiert werden<sup>3)</sup>.

Dieses Schüttgewicht bestimmt nämlich, wieviel kg Getreide in einem m<sup>3</sup> Behälterraum eingelagert werden können und richtet sich im wesentlichen nach der Getreideart (siehe Anhang 4) und der Kornfeuchtigkeit. Für die in Tab. 1 und 2 angegebenen Werte über Luftbedarf ist der Roggen mit dem der jeweiligen Feuchtigkeit entsprechenden Durchschnittsraumgewicht zugrunde gelegt<sup>4)</sup>. Infolge veränderter Schüttgewichte müssen die Luftmengen für die anderen Getreidearten umgerechnet werden, und zwar

1) Der hierzu erforderliche Rechnungsvorgang ist im Anhang zu der Dissertation: „Die Voraussetzungen für die Lagerung und Belüftung von feucht geerntetem Mähreschergetreide“ näher erläutert; diese Arbeit ist im Institut für Landtechnik der Universität Bonn hinterlegt.

2) Die Zugrundelegung des Behälterraumes als Bezugsgröße wurde deshalb vorgenommen, weil zu einer Siloanlage von bestimmtem Ausmaß eine bestimmte Luftförderleistung des Ventilators gehört.

3) Die so ermittelten Zahlen haben dann für alle Getreidearten Gültigkeit. — Die Errechnung des Luftbedarfes je dz Getreide ist vor allem dann zweckmäßig, wenn es sich nicht um eine Behältertrocknung, sondern um eine einfache Bodenbelüftung auf dem Flachspeicher handelt.

4) Weil die Luftmengenberechnungen auf den Gleichgewichtswerten von K. Seidel (Abb. 6), die für Roggen angegeben sind, fußen, wurde diese Getreideart als Beispiel gewählt. Als Raumgewicht für Roggen von 18 % Feuchtigkeit wurde 7,1 dz/m<sup>3</sup> und für 22 % Wassergehalt 6,8 dz/m<sup>3</sup> angenommen.



für Weizen	Aufschlag 5 %
für Gerste	Abschlag 15 %
für Hafer	Abschlag 37 %

Hiermit ist dann auch für diese Getreidearten in etwa dem durch die Einlagerungsfeuchtigkeit veränderten Raumbedarf und daher der unterschiedlichen Luftmenge Rechnung getragen.

Die Luftmengenwerte beziehen sich auf zwei Kornfeuchtigkeiten, auf 18 % und 22 % Wassergehalt. Zwischen diesen muß je nach der zu er-

Tabelle 1

Zur Trocknung benötigte Luftmenge in m<sup>3</sup> je Stunde für 1 m<sup>3</sup> Roggen von 18 % Feuchtigkeit (710 kg)

rel. Luftfeuchte in %	6 Tage Trocknungsdauer					10 Tage Trocknungsdauer					Endfeuchtigk. d. Getreides in %
	Temperatur der Belüftungsluft in ° C										
	10	13	16	19	22	10	13	16	19	22	
45	270	245	225	205	185	145	135	120	110	100	11,5
55	280	260	240	220	200	150	140	130	120	110	12,8
65	340	315	290	265	240	185	170	160	145	130	14,0
75	360	340	315	295	270	200	185	170	160	150	15,5
85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17,8

Tabelle 2

Zur Trocknung benötigte Luftmenge in m<sup>3</sup> je Stunde für 1 m<sup>3</sup> Roggen von 22 % Feuchtigkeit (680 kg)

rel. Luftfeuchte in %	6 Tage Trocknungsdauer					10 Tage Trocknungsdauer					Endfeuchtigk. d. Getreides in %
	Temperatur der Belüftungsluft in ° C										
	10	13	16	19	22	10	13	16	19	22	
45	350	330	310	290	265	190	180	170	155	145	11,5
55	415	390	365	340	310	225	210	200	185	170	12,8
65	530	500	470	430	390	290	270	255	240	220	14,0
75	680	650	620	585	550	370	350	335	320	300	15,5
85	1190	1140	1075	1020	960	650	615	585	550	520	17,8

wartenden Durchschnittsfeuchtigkeit des Getreides gewählt werden. Beträgt nun der Getreidewassergehalt 20 %, dann sind die entsprechenden Luftmengenwerte zu ermitteln. Muß aber eine höhere Einlagerungsfeuchtigkeit vorgeesehen werden, so hat die bei 22 % Wassergehalt angegebene Luftmenge entsprechend dem nun größeren Wasserentzug zuzunehmen. Hierzu sei ein Beispiel angeführt. Es soll die Luftmenge für 26 % Kornfeuchtigkeit ermittelt werden. Die zur Trocknung von 22 % bis auf 14 % Wassergehalt benötigte Luftmenge betrage  $340 \text{ m}^3$  je Stunde. Dieser Wert erhöht sich nun bei 26 % Kornfeuchtigkeit auf  $510 \text{ m}^3$  je Stunde, weil anstatt 8 % jetzt 12 % Wassergehalt zu entziehen sind:  $(340 : 8) \times 10 = 510$  1).

Bei niedriger Einlagerungsfeuchtigkeit ist nun, wie in Kapitel V, C. dargelegt wurde, ein absätziges Belüften zweckmäßig. Hierzu müssen die angegebenen Luftmengen, die ausschließlich für Dauerbelüftung gelten, entsprechend der nun wenigeren Belüftungsstunden erhöht werden, um die gleiche Zahl von Tagen (Brutto-Trocknungszeit) einzuhalten. Es ist aber darauf zu achten, daß beim absätzigen Belüften von anderen Klimadaten ausgegangen werden muß, nämlich den Durchschnittsdaten der Belüftungsstunden, und nicht vom Durchschnittsklima des Tages.

Die Trocknungsdauer richtet sich in der Praxis nicht allein nach der Grenze des Schlechtwerdens von feucht eingelagertem Getreide. Vielmehr sprechen oft auch noch betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte mit (wie Ablauf der Ernte, Anzahl und Größe der Lagerbehälter usw.), die eine kürzere Trocknungszeit fordern. Aus diesem Grund sind sämtliche Luftmengen Zahlen für sechs und zehn Tage Trocknungszeit bei ununterbrochener Belüftung angegeben. Wird nun eine Trocknungsdauer von acht Tagen geplant, dann müssen die sechs- und zehntägigen Luftmengenwerte gemittelt werden, während sie sich bei einer längeren Trocknungsdauer als zehn Tage entsprechend verringern. Allerdings darf nicht vergessen werden, daß vegetativ-feuchtes Korn und solches mit über 22 % Wassergehalt in spätestens sechs Tagen getrocknet sein soll, andernfalls die Gefahr des Schlechtwerdens zu groß wird (siehe Seite 63).

Fällt dieses sehr empfindliche und schnell zu trocknende Getreide nur ab und zu außer der Reihe an, so kann bei einer vorhandenen Belüftungsanlage die Trocknungszeit durch Verändern der Lagerhöhe beeinflusst werden; denn durch Verringern der Lagerhöhe verkürzt sich die Trocknungsdauer, weil die Luftförderleistung des Gebläses ansteigt (siehe Seite 61). So empfiehlt es sich immer — je nach Möglichkeit und vorhandenem Lagerraum — an Stelle eines ganz gefüllten Getreidebehälters besser zwei halb volle zu belüften 2) oder sinngemäß zu verfahren.

Der bei der Belüftung zu erzielende Trocknungsgrad richtet sich im wesentlichen nach der rel. Luftfeuchtigkeit der eingeblasenen Luft. Ihr Durchschnittswert ergibt dann nach Abschluß der Trocknung den in Tab. 1 und 2 angegebenen Endwassergehalt des Kornes. Ferner entscheidet

---

1) Diese vereinfachte Rechnung soll in diesem Zusammenhang genügen. Zur genauen Ermittlung der zu entziehenden Kornfeuchtigkeit siehe Anhang 3.

2) Diese Veränderung der Luftweglänge durch das Getreide ist jedoch nur bei senkrechter Luftführung, aber nicht bei der Belüftung nach dem Querstromprinzip möglich.

bei gleicher Temperatur die durchschnittliche rel. Luftfeuchtigkeit mit über die zur Trocknung benötigte stündliche Luftmenge, wie aus den Tabellen 1 und 2 ersichtlich ist. Da jedoch eine rel. Luftfeuchte von 85 %, dem Getreide mit 18 % Wassergehalt kaum noch Feuchtigkeit zu entziehen vermag, fehlen diese entsprechenden Luftmengenwerte.

Weiterhin spielt die durchschnittliche Temperatur der Zuluft für den stündlichen Verbrauch an Trocknungsluft eine wesentliche Rolle. So sind in den Tabellen 1 und 2 für unterschiedliche Durchschnittstemperaturen die dazugehörenden Luftmengen angeführt. Liegen jedoch die für einen bestimmten Ort zutreffenden Klimawerte der Temperatur und auch der rel. Luftfeuchtigkeit zwischen den angegebenen Daten, dann müssen die entsprechenden Luftmengen Zahlen gemittelt werden.

Ist die Witterung für eine Trocknung zu ungünstig, dann muß, um dennoch zum Ziel zu gelangen, die Belüftungsluft angewärmt werden. Um wieviel Grad Celsius dies zu erfolgen hat, wurde bereits auf Seite 32 erklärt und läßt sich aus Abb. 10 entnehmen. Die so ermittelten neuen Klimawerte sind für den Luftbedarf maßgebend. Eine durch die Reibungsarbeit des Gebläses hervorgerufene kleine Temperaturerhöhung ( $1^{\circ}$  bis  $2^{\circ}$  C) der Belüftungsluft kann als kleine Reserve angesehen werden und ist in den angegebenen Zahlen über Luftmengen nicht berücksichtigt.

An Hand der angeführten Überlegungen läßt sich also der zur Trocknung benötigte Luftbedarf verhältnismäßig genau ermitteln. Ob allerdings diese exakte Berechnung immer zweckmäßig ist, mag bezweifelt werden; denn die Bedingungen, unter denen die Belüftung in einem landwirtschaftlichen Betrieb arbeiten soll, sind sowieso von Jahr zu Jahr unterschiedlich. So kann z. B. einmal eine größere Menge feuchteres Getreide anfallen, als bei der Planung berücksichtigt wurde. Oder die Witterung ist ein andermal wesentlich ungünstiger als zur Berechnung der Luftmenge zugrunde gelegt war. Um nun die durch das Schlechtwerden begrenzte Trocknungszeit niemals zu überschreiten, muß je nachdem ein mehr oder weniger großer Sicherheitszuschlag zu den Luftbedarfswerten erfolgen.

Aus diesem Grunde erscheint es vielleicht richtiger, die benötigten Luftmengen nicht für jeden speziellen Fall genau zu berechnen, sondern nur mit Anhaltswerten zu arbeiten, die für alle normalen Verhältnisse in etwa Gültigkeit haben. Hierzu soll von einem Durchschnittsbelüftungsklima von  $16^{\circ}$  C ausgegangen werden, das eine Abtrocknung des feucht eingebrachten Kornes bis auf 14 % Feuchtigkeit ermöglicht, wozu also etwa 65 % bis 70 % rel. Luftfeuchtigkeit erforderlich sind. Das kann in trockenen Gegenden mit früher Ernte Durchschnittsklima der Belüftungstage sein oder in weniger günstigen das durch Anwärmung der Luft künstlich verbesserte Durchschnittsklima. Die zu veranschlagende Luftmenge richtet sich dann nach der voraussichtlichen Einlagerungsfeuchtigkeit und ist aus Tabelle 3 ersichtlich. Zur letzten Vereinfachung kann folgender Wert allgemeine Gültigkeit haben:

300 m <sup>3</sup> Luft je Stunde und m <sup>3</sup> Siloraum
---

Tabelle 3  
m<sup>3</sup> Luft je Stunde und m<sup>3</sup> Siloraum  
Kornfeuchtigkeit                      Trocknungsdauer

	Trocknungsdauer	
	6 Tage	10 Tage
18 %	290	160
20 %	380	210
22 %	470	260
24 %	590	—
26 %	710	—
28 %	830	—

Diese Luftmenge wird in der Regel genügen, um Weizen und Roggen bei Dauerbelüftung in spätestens 10 Tagen zu trocknen, Gerste und Hafer brauchen dagegen etwa zwei bis drei Tage weniger Trocknungszeit. Damit würde in der übergroßen Mehrzahl aller vorkommenden Fälle bei einer Kornfeuchtigkeit bis 22 % eine rechtzeitige Beendigung der Trocknung mit Sicherheit zu erzielen sein. Es wäre unsinnig, für die immer nur ausnahmsweisen Fälle wesentlich höherer Getreidefeuchtigkeit eine größere Dimensionierung der Gebläseanlage vorzunehmen und daher unwirtschaftlicher zu belüften. Wo in solchen Ausnahmefällen Getreide mit höherem Wassergehalt getrocknet werden muß, kann durch niedrigere Lagerhöhe eine Beschleunigung der Trocknung erzielt werden.

Soll der Luftbedarf aber nicht auf das Volumen sondern auf die Getreidemenge bezogen werden, so kann — entsprechend der letztgenannten allgemein gültigen Luftmenge — folgender Wert gelten, der dann für alle Getreidearten in etwa zutrifft:

45 m<sup>3</sup> Luft je Stunde und 100 kg Getreide

Die stündlich benötigte Förderleistung des Gebläses errechnet sich nun durch Multiplikation der zugrunde gelegten Luftmenge mit den Kubikmetern an Siloraum (bzw. dz Getreide), die gleichzeitig belüftet werden sollen. Die Größe dieses Trocknungsraumes richtet sich nach der Menge des feucht anfallenden Getreides und der geforderten Trocknungsdauer. Der auf diese Art und Weise erhaltene Luftmengenwert ist für die richtige Planung einer Belüftungsanlage einzusetzen.

Für die Praxis wird es nun genügen, eine vereinfachte, grobe Einteilung in fünf Gebläsegrößen vorzunehmen, zwischen denen je nach Getreidemenge und benötigtem Trocknungsraum auszuwählen ist <sup>1)</sup>. Die vom Belüftungsgebläse verlangte Luftmenge soll hierbei in m<sup>3</sup> je Sekunde angegeben werden:

Gebläsegröße Nr.		1	2	3	4	5
Luftmenge m <sup>3</sup> /sec		0,8	1,6	2,4	3,2	4
Getreidemenge	m <sup>3</sup>	10	20	30	40	50
	dz	65	130	195	260	325

<sup>1)</sup> Siehe auch: Dencker, Heidt, Wenner, a. a. O.

## b. Notwendiger Kraftbedarf

Zur Lieferung der benötigten Menge Trocknungsluft und zum Hindurchdrücken dieser Luft durch einen Kornstock verlangt das Belüftungsgebläse eine bestimmte Antriebskraft. Sie wird in der Regel durch die Installation eines entsprechenden Elektromotors gedeckt, oder seltener mit Hilfe eines Verbrennungsmotors zur Verfügung gestellt. Wie hoch nun der Kraftbedarf, also die Motorstärke zum Antrieb des Belüftungsgebläses sein muß, hat für die Planung einer Trocknungsanlage große Bedeutung. Außerdem richten sich die Betriebskosten der Trocknung nach dem Energieverbrauch des angeschlossenen Motors, so daß auch zu ihrer Berechnung der benötigte Kraftbedarf bekannt sein muß.

Für die Höhe des Kraftbedarfes<sup>1)</sup> zur Belüftung des Getreides ist nun hauptsächlich verantwortlich

1. die Luftmenge, die zur Trocknung erforderlich ist und in einer bestimmten Zeit gefördert werden muß,
2. der Widerstand, den die Luft beim Durchblasen einer Getreideschicht erfährt<sup>2)</sup>.

1. Wie im vorigen Abschnitt ausgeführt wurde, hängt die benötigte Trocknungsluftmenge von der gleichzeitig zu belüftenden Kornmenge ab. Zum Bewegen dieser Luftmengen ist nun eine bestimmte Energie erforderlich, da ja 1 m<sup>3</sup> Luft etwa 1,2 kg wiegt. Diese notwendige Energie nimmt mit steigender Luftmenge je Sekunde linear zu; somit hängt auch der Kraftbedarf zum Antrieb des Gebläses proportional von der zu belüftenden Getreidemenge ab, weil mit ihr die zur Trocknung verlangte Luftmenge gleichmäßig ansteigt. Also wird bei einem kleinen Siloraum ein schwacher Antriebsmotor für den Ventilatorantrieb ausreichen, während für größere Belüftungssilos ein starker Motor notwendig ist.

2. Neben der verlangten Luftmenge hat auch der Druckverlust, der beim Hindurchblasen der Luft durch den Kornstock entsteht, einen entscheidenden Einfluß auf den Kraftbedarf<sup>3)</sup>; er nimmt proportional mit dem statischen Gegendruck zu. Dieser statische Druck, den das Gebläse zu überwinden hat, hängt von zweierlei ab, einmal von der Windgeschwin-

1) Zur Berechnung des Kraftbedarfes siehe Anhang 5.

2) Außerdem spielen noch die Druckverluste, die durch die Luftzuführleitungen, Belüftungskanäle und andere Luftverteilungsorgane entstehen, eine gewisse Rolle. Um diese Druckverluste möglichst niedrig zu halten, müssen die Stellen, an denen die Luft in das Getreide eintritt, einen genügend großen Querschnitt haben. Weiterhin ist auf große Abmessungen der Luftzuführkanäle zu achten, damit in ihnen keine höhere Windgeschwindigkeit als 10 m je sec eintritt.

3) D. Simons, Untersuchungen über den Strömungswiderstand von Luft in Getreideschüttungen. Diss. Braunschweig 1954.

digkeit, die im Getreide herrscht, zum anderen von der Länge des Weges, den die Luft durch die Getreideschicht zurücklegen muß.

Als Ausdruck der im Getreide vorhandenen Windgeschwindigkeit kann einfachheitshalber die Luftmenge, die auf einem  $m^2$  Belüftungsgrundfläche je Stunde eingeblasen wird, eingesetzt werden. Nach Simons beträgt nun der statische Druck für 1 m Weglänge der Luft durch das Getreide bei einer Luftmenge von  $300 m^3$  je  $m^2$  Belüftungsfläche und Stunde im Durchschnitt für die vier Getreidearten etwa 23 mm WS (Wassersäule) und bei  $600 m^3$  Luft je  $m^2$  Belüftungsfläche und Stunde etwa 62 mm WS. Hieraus folgt, daß der vom Gebläse zu überwindende Gegendruck überproportional mit der Windgeschwindigkeit zunimmt. Für überschlägige Rechnungen genügt jedoch die Annahme, daß je  $100 m^3$  Luft, die auf einem  $m^2$  Belüftungsfläche in der Stunde einströmen, ein statischer Druck von etwa 10 mm WS auftritt, wenn die Lagerhöhe 1 m beträgt. Bei der allgemein gültigen Luftmenge von  $300 m^3$  je Stunde und  $m^3$  Getreide wäre hiernach bei 1 m Schütthöhe vom Gebläse ein statischer Druck von etwa 30 mm WS zu überwinden. Die Folgerung daraus, daß mit zunehmender Windgeschwindigkeit der Kraftbedarf und daher auch die Trocknungskosten ansteigen, ist nun, zweckmäßig mit niedriger Windgeschwindigkeit zu belüften. Dies kann bei gegebener Lagerhöhe nur dadurch erreicht werden, daß die zur Trocknung erforderliche Gesamtluftmenge über eine verhältnismäßig lange Zeit verteilt eingeblasen wird, wenn also eine lange Trocknungszeit angesetzt wird. Hierauf beruht die Tatsache, daß erst durch das Verfahren der Langsamtrocknung eine rentable Belüftung möglich ist. Jedoch darf die Trocknungszeit nicht bis über die Grenze ausgedehnt werden, bei der das Getreide verdirbt.

Aber auch die Länge des Weges, den die Luft durch den Kornstock zurücklegen muß, ist sehr entscheidend für den Gegendruck und damit den Kraftbedarf. So wächst bei senkrechter Durchlüftung der Luftwiderstand gleichmäßig mit der Lagerhöhe an. Wenn demnach bei  $300 m^3$  Luft je Stunde und  $m^2$  Grundfläche für 1 m Lagerhöhe 30 mm WS statischer Druck erforderlich sind, dann erhöht sich dieser Wert bei gleichbleibender Luftmenge je  $m^2$  Belüftungsfläche für 2 m Lagerhöhe auf 60 mm WS, für 3 m Lagerhöhe auf 90 mm WS usw. Da nun mit zunehmender Lagerhöhe der Kraftbedarf gleichmäßig ansteigt, könnte der Eindruck entstehen, daß der Energieaufwand zur Belüftung auf den  $m^3$  Getreide berechnet gleich sei. Hierbei würde jedoch mit zunehmender Lagerhöhe eine Verlängerung der Trocknungszeit eintreten, da die Luftmenge je  $m^2$  Grundfläche bei größer werdender Getreidemenge als konstant angenommen wurde. Um aber mit gleicher Trocknungszeit zu belüften, muß die Luftmenge von  $300 m^3$  je Stunde und  $m^3$  Getreide beibehalten werden. Dadurch steigt nun mit größerer Lagerhöhe und somit zunehmender Kornmenge die Luftmenge, die je  $m^2$  Belüftungsfläche einströmen muß; das bewirkt wiederum einen Anstieg des statischen Druckes.

Diese Verhältnisse werden aber am deutlichsten, wenn von einem festliegenden benötigten Kubikraum ausgegangen wird, wie es bei der praktischen Planung einer Belüftungsanlage zu geschehen hat. Wird nun die Belüftung auf kleiner Grundfläche bei großer Lagerhöhe derjenigen auf großer Grundfläche bei niedriger Lagerhöhe gegenübergestellt, dann

ergibt sich folgendes Bild<sup>1)</sup>: Für beide Fälle wird dieselbe Gesamtluftmenge benötigt<sup>2)</sup>. Wird diese zur Erzielung einer gleichen Trocknungsdauer in derselben Zeit durchgeblasen, so herrscht in dem Behälter mit kleiner Grundfläche eine hohe Luftgeschwindigkeit, in demjenigen von großem Querschnitt dagegen eine kleine. Die höhere Luftgeschwindigkeit bedeutet aber höheren statischen Gegendruck. Außerdem führt der längere Weg, den die Luft durch das Getreide zurücklegen muß, abermals zu einem entsprechenden Anstieg des Widerstandes und damit des statischen Druckes. Aus diesen Zusammenhängen folgt nun, daß mit zunehmender Weglänge der Luft durch das Getreide, also mit größerer Lagerhöhe, der statische Druck und damit auch der Kraftbedarf sehr schnell ansteigen, und zwar ungefähr im Quadrat<sup>3)</sup>. Um also einen niedrigen Kraftbedarf und damit auch niedrige Trocknungskosten anzustreben, muß bei der Anwendung der Belüftung in der Praxis immer auf eine geringe Weglänge der Luft durch das Getreide, also auf eine in tragbaren Grenzen niedrige Lagerhöhe geachtet werden.

Der Kraftbedarf des Belüftungsgebläses richtet sich also hauptsächlich nach der zu trocknenden Getreidemenge, von der die stündliche Luftfördermenge abhängt, und bei senkrechter Durchlüftung nach der Lagerhöhe, die für den statischen Gegendruck maßgebend ist. Wenn von einer durchschnittlichen Trocknungszeit von 10 Tagen ausgegangen werden soll, so können bei den fünf Gebläsegrößen<sup>4)</sup> folgende Werte für die Luftleistung, den statischen Druck und den Kraftbedarf zugrunde gelegt werden:

Lagerhöhe	Getreidemenge m <sup>3</sup>					
	10	20	30	40	50	
	Luftmenge m <sup>3</sup> /sec					
	0,8	1,6	2,4	3,2	4	
0,5 m = 7,5 mm WS stat. Druck	Kraftbedarf PS	0,25	0,5	0,75	1	1,25
	Belüftungsgrundfläche m <sup>2</sup>	20	40	60	80	100
1 m = 30 mm WS stat. Druck	Kraftbedarf PS	1	2	3	4	5
	Belüftungsgrundfläche m <sup>2</sup>	10	20	30	40	50
1,5 m = 68 mm WS stat. Druck	Kraftbedarf PS	2,2	4,4	6,6	8,8	11
	Belüftungsgrundfläche m <sup>2</sup>	7	13,5	20	27	33,5
2 m = 120 mm WS stat. Druck	Kraftbedarf PS	4	8	12	16	20
	Belüftungsgrundfläche m <sup>2</sup>	5	10	15	20	25

1) Hier sei abgesehen von dem Belüftungssystem mit Zentralrohr.

2) Siehe Seite 54.

3) „Die Motor-Nennleistung steigt mit der 2,4-ten Potenz der Lagerhöhe“, aus D. Simons, a. a. O.

4) Bei einer Gebläsebestellung ist der Lieferfirma neben der verlangten Luftfördermenge auch der statische Druck anzugeben!

Aus dieser Übersicht geht also hervor, daß mit abnehmender Lagerhöhe der Kraftbedarf und daher auch die Betriebskosten stark fallen. Andererseits nehmen aber die Investierungskosten mit der gleichzeitig größer werdenden Belüftungsgrundfläche zu. In der Praxis muß nun je nach den vorliegenden Verhältnissen ein Mittelweg gesucht werden, der günstige Gesamttrocknungskosten ergibt. Immerhin kann aber gesagt werden, daß bei 2 m Lagerhöhe die Höchstgrenze erreicht ist, bei deren Überschreitung keine wirtschaftliche Trocknung mehr gewährleistet ist.



## VI. Zusammenfassung

Aus Gründen der Arbeitersparnis setzt sich in der Getreideernte mit zunehmendem Maße das Verfahren des Erntedrusches durch. Von seinen verschiedenen Lösungen findet auch der Mähdrusch in Westdeutschland immer mehr Eingang. Dennoch ist seine Durchführung in unserem Klimabereich mit manchen Schwierigkeiten verbunden. Vor allem verdient die Behandlung und Aufbewahrung der Körnerernte erhöhte Aufmerksamkeit.

Voraussetzung für eine spätere, leicht durchzuführende Lagerung und Weiterbehandlung des Erntegutes ist das Erreichen eines genügenden Reife- und Trocknungsgrades der Körner. Hiernach muß der richtige Zeitpunkt des Mähdreschereinsatzes gewählt werden. Allerdings unterliegen bei dieser Erntemethode der Reifeprozess des Getreides und seine Feuchtigkeit anderen Bedingungen. Während nach dem alten Ernteverfahren vermittels Binder, Hocke, Einbansen und Dreschen das natürliche Ausreifen des Getreides auf dem Halm durch den Binderschnitt unterbunden wird, soll der Mähdrescher möglichst das Stadium der Totreife abwarten. Diese ist erreicht, wenn im Verlauf des Reifevorganges die Feuchtigkeit, die durch die Pflanze in das Korn gelangt ist, also das Vegetationswasser, bis unter 14 % abgenommen hat.

Wenn auch ein Ernten von feuchtem und unreifem Getreide durch den Mähdrescher praktisch möglich ist, so gestaltet sich aber die anschließende Lagerung solchen Kornes außerordentlich schwierig. Hierbei verhalten sich vegetativ-feuchtes Getreide und solches, das durch die Witterung quellfeucht wurde, grundsätzlich verschieden. Während Korn mit hohem Anteil an Vegetationswasser sofort warm wird und schnell verdirbt, bleibt Getreide mit vorwiegender Quellfeuchtigkeit im allgemeinen längere Zeit gesund und erwärmt sich nicht. Hieraus leitet sich die Forderung ab, daß der Mähdrescher möglichst nur bei vollkommener Totreife des Getreides einzusetzen ist.

Dieses totreife Korn behält zwar, auch wenn es mit Quellfeuchtigkeit geerntet wurde, bei der Lagerung längere Zeit seine volle Keimfähigkeit, die aber mit dem Auftreten des Schimmelpilzwachstums nach einer Reihe von Tagen abfällt. Hiergegen sind Gerste und Hafer widerstandsfähiger als Roggen und Weizen. Ferner haben in diesem Zusammenhang der Reinheitszustand und nicht zu vergessen die Einlagerungsfeuchtigkeit eine große Bedeutung.

Um dieses feuchte Getreide zu konservieren, kommen verschiedene Methoden in Betracht, so vor allem die Trocknung, der Sauerstoffentzug und die Kühlung. Praktische Bedeutung hat davon bisher nur die Trocknung erlangt.

Eine sofortige Herabtrocknung durch Warmlufttrockner, wie sie in Lagerhäusern üblich ist, kommt im bäuerlichen Betrieb kaum in Betracht, da die Investitionen für den Trockner, die Fördereinrichtungen usw. zu hoch werden. Hier steht also im Vordergrund die Möglichkeit der langsamen Trocknung des Getreides im Lagerbehälter mittels Durchblasens atmosphärischer Luft.

Die Voraussetzungen für eine solche Konservierungsmethode wurden in mehrjährigen gründlichen Versuchen im Laboratorium des Institutes für Landtechnik in Bonn, sowie in praktischen Betrieben eingehend untersucht. Dabei ergab sich folgendes Bild:

Der Luftstrom hat zwei Wirkungen auf das Getreide, eine trocknende und eine konservierende, die gleichzeitig auftreten und daher gemeinsam zu untersuchen waren.

Die konservierende Wirkung äußert sich in der Weise, daß der Zeitpunkt des Schlechtwerdens (Muffigwerden, Absinken der Keimkraft) um so weiter herausgeschoben wird, je größer die stündlich hindurchgeblasene Luftmenge wird. Selbst feuchte Luft, die keinerlei Trocknungsfähigkeit besitzt, übt diese Konservierungswirkung aus. Ferner ist anzunehmen, daß bei niedrigerer Temperatur der durch das Getreide geblasenen Luft ein Schlechtwerden infolge Kühlkonservierung weit hinausgeschoben werden kann.

Den stärksten Einfluß übt aber der Luftstrom durch seine Trocknungswirkung aus. Entscheidend hierfür ist hauptsächlich das Klima, also die rel. Luftfeuchtigkeit und die Temperatur. Die rel. Luftfeuchtigkeit beeinflusst einmal den zu erzielenden Trocknungsgrad, weiterhin aber auch mit der Temperatur die Schnelligkeit der Trocknung. Ist jedoch das Klima zu ungünstig, dann muß die Belüftungsluft um einige wenige Grad Celsius angewärmt werden, und zwar so weit, daß gerade eine Trocknung bis auf 14 % Kornfeuchtigkeit möglich wird, da bei stärkerer Aufheizung der Belüftungsluft eine Untertrocknung der an der Lufteintrittsstelle gelegenen Kornschichten erfolgt. Ferner ist für die Schnelligkeit des Wasserentzuges die Luftmenge maßgebend, die je Stunde in den Kornstock hineingeblasen wird. Die Einlagerungsfeuchtigkeit des Getreides sowie die Getreideart spielen in diesem Zusammenhang natürlich ebenfalls eine große Rolle. Zur guten Ausnutzung der Trocknungsfähigkeit der Belüftungsluft kommt es darauf an, daß das feuchteste Getreide an der Luftaustrittsstelle lagert.

Die höchst zulässige Trocknungszeit ist durch die Gefahr begrenzt, daß ein Teil des eingelagerten Getreides verdirbt. Infolge der Feuchtigkeitsschichtung beim Trocknungsvorgang werden die unteren Getreidepartien zuerst getrocknet und bleiben gesund, dagegen sind die oberen, längere Zeit feucht bleibenden Kornschichten am meisten gefährdet. Um nun den Wettlauf zwischen Trocknung und Verderben zu gewinnen, müssen die Trocknung beschleunigt und das Schlechtwerden hinausgeschoben werden; beides geschieht durch Erhöhung der stündlichen Luftmenge. Natürlich spielen die jeweils herrschende Temperatur und die Einlagerungsfeuchtigkeit für das Verderben des Kornes eine wesentliche Rolle. Allgemein kann aber für Getreide bis 22 % Anfangswassergehalt eine Trocknungszeit von zehn Tagen als zulässig angenommen werden, bei höherer Kornfeuchtigkeit oder größerem Anteil an vegetativem Wasser sollte jedoch der Kornstock in spätestens sechs Tagen trocken sein. Damit im Getreidestock keine feuchten Nester zurückbleiben, die Anlaß zum Verderben geben, soll für eine gleichmäßige Luftverteilung gesorgt sein. Weiterhin muß darauf geachtet werden, daß die an der Luftaustrittsstelle möglicherweise auftretende Kondensation der feuchten Luft unbedingt vermieden wird.

Das jeweils herrschende Klima ist für die Durchführung der Belüftung von großer Bedeutung. Die Witterungsschwankungen, die während der Tag- und Nachtzeit auftreten, können weitgehend von der unteren Kornschicht aufgefangen werden, die somit eine Pufferwirkung besitzt und eine gleichmäßig fortschreitende Trocknung des Kornstockes auch bei durchlaufender Belüftung gestattet. Die Klimaunterschiede während des Jahres und in den einzelnen Gegenden zwingen zur Anwendung verschieden hoher Luftmengen. Für die Planung einer Belüftungsanlage müssen die durchschnittlichen Klimadaten, die für die Zeit nach der Ernte Gültigkeit haben, zugrunde gelegt werden. Allerdings ist der Trocknung mit ungünstiger werdendem Klima schnell eine Grenze gesetzt, so daß hier nur noch eine Anwärmung der Belüftungsluft zum Ziele führt.

Die täglichen Belüftungszeiten richten sich im wesentlichen nach der Kornfeuchtigkeit und der Witterung. Getreide mit mehr als 20 % Wassergehalt muß ununterbrochen Tag und Nacht durchbelüftet werden, ohne auf das Wetter Rücksicht zu nehmen. Dagegen hat bei niedrigerer Einlagerungsfeuchtigkeit ein absätziges Belüften zu erfolgen, bei dem die zur Trocknung günstigsten Tageszeiten auszuwählen sind. Dies kann zweckmäßig dadurch geschehen, daß die absolute Luftfeuchtigkeit der in das Getreide eintretenden Luft mit der austretenden durch ein Thermohygrometer verglichen wird. Solange letztere noch größere absolute Feuchtigkeitsmengen enthält, findet noch eine trocknende Wirkung statt.

Zum praktischen Gebrauch sind einfache Regeln dafür angegeben, wann mit durchlaufender und wann und wie lange mit absätziger Belüftung geblasen werden kann, sowie schließlich auch wann eine Anwärmung zweckmäßig ist.

Für die richtige Planung einer Belüftungsanlage und der zweckmäßigen Luftförderleistung des Ventilators muß unbedingt die zur Trocknung benötigte stündliche Luftmenge bekannt sein. Aus diesem Grunde sind für die verschiedensten Verhältnisse Werte über den erforderlichen stündlichen Luftbedarf wiedergegeben. Als Anhaltspunkt kann im allgemeinen mit 300 m<sup>3</sup> Luft je Stunde und m<sup>3</sup> Siloraum gerechnet werden. Diese Gebläseförderleistung dürfte selbst in etwas ungünstigen Fällen noch ausreichen, um das feucht eingelagerte Getreide vor dem Verderben zu retten. Zur Beschleunigung der Trocknung von besonders feuchtem Korn bietet die Verringerung der Lagerhöhe einen wirksamen Ausweg. Um die Planung von Belüftungsanlagen zu erleichtern, wurden fünf Gebläsegrößen mit der dazugehörigen Trocknungsleistung angegeben.

Zur richtigen Anpassung des Belüftungsgebläses an die geplante Trocknungsanlage muß auch über den Kraftbedarf, der zum Antrieb des Ventilators erforderlich ist, Klarheit herrschen. Er richtet sich hauptsächlich nach der stündlich benötigten Luftmenge und nach dem Gegendruck, den die Luft beim Durchströmen der Getreideschicht zu überwinden hat. Dieser statische Druck ist um so größer, je höher die Windgeschwindigkeit im Getreide und je größer die zu durchblasende Kornschicht ist. Also muß für eine rentable Belüftung mit niedrigem Kraftbedarf eine möglichst langsame Trocknung bei niedriger Lagerhöhe angestrebt werden. Für die praktisch in Frage kommenden fünf Gebläsegrößen sind die entsprechenden Werte des Kraftbedarfes bei unterschiedlicher Lagerhöhe aufgeführt.

## Literaturverzeichnis

- E. von Barsewisch: Englische Stimmen zum Mähdrusch. „Landtechnik“ 1952, Heft 4
- M. Berg och L. Ottosson: Skördetröskning vid låg vattenhalt, Jordbrukstehniska Institutet, Ultuna, Uppsala 1949, Meddelande Nr. 223
- M. J. Buré: La vie des grains, aus: Compte rendu de la journée préparatoire d'étude sur le séchage, Paris 1952, édité par l'Association Générale des Producteurs de Blé et autres Céréales, 18. Rue des Pyramides, Paris
- Coleman & Fellows: Hygroscopic moisture in cereal grains. „Cereal Chem.“ vol. II pp. 275—278, September 1925, aus: B. M. Stahl
- C. H. Dencker, H. Heidt und H. L. Wenner: Einrichtungen auf dem Hofe zur Lagerung und Trocknung von Erntedruschgetreide. Verlag Neureuter, München/Wolfratshausen 1954
- H. Edholm: Undersökningar angående torkning av spannmål, Uppsala 1932, Almqvist & Wiksells boktryckeri -A-B
- F. C. Fenton: Storage of grain sorghums, „Agricultural Engineering“, vol. 22, no 5, May 1941
- F. J. Gay: Some moisture relations of Australian wheats, „Journal of the council for scientific and industrial research“, Volume 14, Nr. 2, Melbourne 1941
- E. Gronwald: Zentrifugal-Ventilatoren, Verlag J. Springer, Berlin 1925
- A. Hering A. G.: Belüftungsprüfer für Getreidespeicher, Nürnberg
- E. Klapp: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. Verlag Paul Parey, Berlin 1951
- A. Köstlin: Die Möglichkeiten des Mähdrusches in Westdeutschland. „Landtechnik“ 1953, Heft 10
- R. Legendre: Les Céréales, Collection Armand Colin, Paris Nr. 177, 195, aus: G. Malcorps
- G. Malcorps: La moissonneuse-batteuse, ses possibilités d'utilisation en Belgique, aus: „Agrikultura“ août 1947, juillet 1948, Louvain
- K. Mohs: Das Getreidekorn. Verlag P. Parey, Berlin 1931
- H. Nuret: La ventilation du grain, aus: Compte rendu

- L. Pap: Aus: T. A. Oxley: The Scientific Principles of Grain Storage, The Northern Publishing Co. LTD. Liverpool 1948
- P. Pelshenke: Getreidequalität, Brot und Nahrungsmittel, in Handbuch der Landwirtschaft, Verlag P. Parey, Berlin und Hamburg
- H. Rietschel: Lehrbuch der Heiz- und Lüftungstechnik. Verlag Springer, Berlin 1950
- K. Seidel: Getreidelagerung. RKTL-Heft 58, Verlag Beuth, Berlin 1935
- D. Simons: Untersuchungen über den Strömungswiderstand von Luft in Getreideschüttungen. Diss. Braunschweig 1954
- J. J. I. Sprenger: Metingen van Dampdrukisothermen van Tarwe. Drooglaboratorium, Nr. 10, Wageningen 1951
- M. Stahl: Engineering Data on Grain Storage. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, May 1948
- O. F. Theimer: Hilfstafel zur Belüftung von gelagertem Getreide. „Deutsche Müllerzeitung“, München 1951, Heft 2
- J. Woodforde, W. F. Williamson, J. F. Mc Cloy: Experimental ventilated silo grain storage plant at NIAE; C. S. 15. Silsoe 1952
- Bin ventilation. „Agricultural Engineering Record“, National Institute of Agricultural Engineering. Silsoe-Bedfordshire, London, Spring 1947
- Utilization of waste heat from a Diesel engine in a ventilated bin installation, „NIAE Technical Memorandum“ NO. 13/C/141/WFW, Silsoe Wrest Park 1949

## Anhang

Im folgenden sollen die wichtigsten Gleichungen, die im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit benutzt wurden, kurz erläutert werden. Diese Formeln sind besonders für diejenigen von Interesse, die sich mit näheren Einzelheiten der Trocknung und Belüftung beschäftigen und weitere Berechnungen anstellen wollen.

1. Um für die Lagerungs- und Trocknungsversuche Getreide von bestimmter Feuchtigkeit zu erhalten, mußte das Ausgangsmaterial mit einer entsprechenden Wassermenge benetzt werden. Der Wasserzusatz in kg erfolgte nach der Gleichung

$$\text{Wasserzusatz kg} = \frac{\text{Getreidemenge kg} \cdot (N - V)}{100 - N}$$

N = Wassergehalt in % nach der Netzung

V = Wassergehalt in % vor der Netzung

2. Die relative Luftfeuchtigkeit ( $\varphi$ ) ist das Verhältnis des in feuchter Luft vorhandenen Wasserdampfdruckes ( $h_w$ ) zu dem bei Sättigung und gleicher Temperatur (t) möglichen Wasserdampfdruck ( $h_{ws}$ ).

$$\varphi = \frac{h_w}{h_{ws}} \quad \text{wobei } t = \text{konst.}$$

3. Zur Berechnung des Wasserentzuges bei der Trocknung muß — ähnlich wie bei der Anfeuchtung des Getreides — folgende Formel zugrunde gelegt werden

$$\text{Wasserentzug kg} = \frac{\text{Getreidemenge kg} \cdot (V - N)}{100 - N}$$

N = Wassergehalt in % nach der Trocknung

V = Wassergehalt in % vor der Trocknung

4. Die hiesige Angabe der Getreidefeuchtigkeit beruht, wenn nicht ausdrücklich anders vermerkt, immer auf Naßbasis, und zwar nach der Gleichung

$$F_n \% = \frac{\text{Gewicht des Wassers}}{\text{Gewicht des nassen Materials}} \cdot 100$$

$F_n$  = Feuchtigkeitsgehalt in % auf Naßbasis bezogen.

Im Ausland ist vielfach die Angabe der Getreidefeuchtigkeit auf Trockenbasis bezogen üblich entsprechend folgender Gleichung

$$F_t \% = \frac{\text{Gewicht des Wassers}}{\text{Gewicht der Trockensubstanz}} \cdot 100$$

$F_t$  = Feuchtigkeitsgehalt in % auf Trockenbasis bezogen

Zur Umrechnung dieser zwei Feuchtigkeitsangaben müssen folgende Formeln benutzt werden

$$F_n \text{ ‰} = \frac{100 \cdot F_t \text{ ‰}}{100 + F_t \text{ ‰}} \qquad F_t \text{ ‰} = \frac{100 \cdot F_n \text{ ‰}}{100 - F_n \text{ ‰}}$$

5. Bei den einzelnen Getreidearten ist mit etwa folgenden Raumgewichten in dz je m<sup>3</sup> zu rechnen

	von	bis	durchschnittlich
Weizen	7,1 dz/m <sup>3</sup>	8,2 dz/m <sup>3</sup>	7,6 dz/m <sup>3</sup>
Roggen	6,6 "	7,8 "	7,2 "
Gerste	5,8 "	6,4 "	6,1 "
Hafer	4,0 "	5,0 "	4,5 "

6. Der Kraftbedarf, der zum Antrieb des Belüftungsgebläses erforderlich ist, ergibt sich aus folgender Gleichung

$$N = \frac{Q \cdot h_{\text{ges}}}{102 \cdot \eta}$$

N = Kraftbedarf in kW

Q = verlangte Luftmenge in m<sup>3</sup> je sec

h<sub>ges</sub> = Gesamtdruck in mm WS (Wassersäule), den das Gebläse zu überwinden hat

102 = Umrechnungsfaktor für kW (102 mkg = 1 kW)

η = Wirkungsgrad von Antriebsmotor und Gebläse

Der Gesamtdruck setzt sich aus dem dynamischen und dem statischen Druck zusammen. Da der dynamische Druck im praktischen Bereich der Belüftung sehr niedrig ist, kann er ohne Fehler vernachlässigt werden. Somit ist bei dem Gesamtdruck nur der statische Gegendruck zu berücksichtigen.

Bei der Berechnung des Kraftbedarfes der fünf Gebläsegrößen wurde ein niedriger Wirkungsgrad (η = 0,35) eingesetzt, da das Gebläse und der Antriebsmotor durchschnittlich im praktischen Betrieb nicht mit dem höchsten Wirkungsgrad (η = 0,6 bis 0,8) arbeiten.





## Berichte über Landtechnik

Aus der KTL-Schriftenreihe „Berichte über Landtechnik“ sind folgende Veröffentlichungen noch durch das Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft e. V., Frankfurt a. M., Eschersheimer Landstraße 10, zu beziehen:

- 2: Dencker, Heidenreich, Gliemeroth, Burckhard: „Neue Wege der Stallmistwirtschaft / Selbstverschuldete Strukturstörungen des Bodens / Zeichnerische Darstellung von Pflügekörpern.“ 1948. Preis DM 1,—
- 4: Meyer, Frese, Tornau, Scheffer, Laatsch, Kloth, Gliemeroth, Doerell, Sauerlandt, Ellenberg: „Bodenbearbeitung als Kernproblem der Bodenfruchtbarkeit.“ 1948. Preis DM 1,—
- 7a: Woermann, Dencker, Preuschen, von Waechter: „Der mögliche Anteil der Inlandserzeugung an der deutschen Nahrungsversorgung / Landtechnik in USA und Deutschland / Die Aufgabe neuer Arbeitslösungen in der deutschen Landwirtschaft / Der deutsche Landmaschinenbau in der europäischen Verflechtung.“ 1949. Preis DM 1,—
- 7c: Sommerkamp, Fritz, Böttger, Schmalfuß: „Verarbeitung landwirtschaftlicher Erzeugnisse.“ 1949. Preis DM 1,—
- 7d: Seifert, Kloß, Meyer, Korn, Skalweit: „Motoren für Acker und Straße / Die Motorisierung des bäuerlichen Familienbetriebes.“ 1950. Preis DM 1,—
- 7e: Brixner, Hoehstetter, Dencker, Knolle: „Gemeinschaftliche und genossenschaftliche Maschinenverwendung / Hackfruchtbestellung und Hackfruchtpflege.“ 1949. Preis DM 1,—
- 7f: Kirstein, Schlewski, Preuschen: „Landwirtschaftliches Bauwesen.“ 1949. Preis DM 1,—
- 8: Drees, Kremp, Gallwitz, Scheibe, Schumacher, Blunck: „Vergleichende Untersuchungen über die Wirtschaftlichkeit von Spritzverfahren.“ 1949. Preis DM 1,—
- 9: Segler: „Wege zur Verbesserung der Grünfütter- und Heuernte.“ 1950. Preis DM 1,—
- 10: Kreher: „Termine, Zeitspannen und Arbeitsvorschläge in der nordwestdeutschen Landwirtschaft.“ 1950. Preis DM 1,—
- 12: Gallwitz: „Pflanzenschutztechnik / Spritztechnik.“ 1950. Preis DM 1,—
- 14: Diedrich: „Untersuchungen über Steuerfähigkeit und Sichtverhältnisse an Ackerschleppern.“ 1950. Preis DM 1,—
- 15: Alfeld: „Technik im Bauernhof.“ 1951. Preis DM 3,50
- 22: Graeser: „Holzschutz — Holzschutzmittel in der Landwirtschaft.“ 1953. Preis 2,50
- 24: von Bismarck, Hoehstetter, Stauß, Muth, Lommatzsch, Röhner, Rothmann, Köstlin, Kriebel, Stöckmann, Kröger, Eisenreich, Obée, Hausen: „Technik in Haus, Hof und Stall.“ 1952. Preis DM 1,—
- 25: Heidenreich: „Die Mechanisierung des Stallmisttreuens.“ 1952. Preis DM 0,50
- 26: von Waechter, Woermann, Sommerkamp, Ries, Preuschen, Bernhard, Orth, Matthies, Segler, Seidler, Witt, Graf, Richarz: „Arbeitswirtschaft und Technik in der Futter- und Milchgewinnung.“ 1953. Preis DM 1,—
- 27: Frese, Ebertz, Vogt, Fischer, Kriebel, Lentz, Schulze Lammers, Ries, Brenner, Steffen, Mertens, Heller, Kliefloth: „Die Landtechnik hilft.“ 1953. Preis DM 1,—
- 28: Segler, Matthies, Birk: „Entwicklung und Erprobung von Heubelüftungsanlagen.“ 1953. Preis DM 2,—
- 29: Schaefer—Kehnert: „Wirtschaftlichkeit und Grenzen der Zugkraft-Motorisierung.“ 1953. Preis DM 2,—
- 30: Steffen: „Mechanisierung der Kartoffelernte.“ 1953. Preis DM 2,—
- 31: Schulze Lammers: „Geräte und Verfahren für die Rauhfütterernte.“ 1953. Preis DM 1,—
- 32: Kröger: „Der Einsatz neuer technischer Hilfsmittel in der Stallmistwirtschaft.“ 1953. Preis DM 2,—

- 33: Kessler: „Einachskarre — Zweiachswagen, ein Vergleich.“ 1953. Preis DM 2,—
- 34: Köstlin, Seibold, Segler, Preuschen, Völzke, Scharrer, Dencker, Theimer, Glathe, Thielebein: „Neue Verfahren der Getreideernte.“ 1953. Preis DM 1,—
- 35: Heller: „Mechanisierung der Zuckerrübenernte.“ 1953. Preis DM 2,—
- 36: Kreher: „Der Arbeitsvorschlag im Bauernhof.“ 1953. Preis DM 3,—
- 37: Abel, Eisenreich, Krüger, Witt, Deschepper, Schrödter, Seelemann, Rackow, Kinzelbach, Eisenreich, Plock, Hansen, Klotz, Stauß: „Die Melkmaschine.“ 1953. Preis DM 1,—
- 38: Ries, Hoehstetter, Fuchs, Tode, Senke, Geißelhart, Waggershauser, Frese, Blinn, Preuschen, Schiller, Lommatzsch: „Die Motorisierung im bäuerlichen Familienbetrieb.“ 1954. DM 1,—
- 39: Lengsfeld: „Landwirtschaft und Straßenverkehr.“ 1954. Preis DM —,60.
- 40: Broermann: „Der Vollmotorisierungsschlepper im kleinbäuerlichen Betrieb.“ 1954. DM 2.—
- 41: „Die Mechanisierung landwirtschaftlicher Kleinbetriebe. — Bericht einer Arbeitstagung der OEEC“. 1954. Preis DM 3,—
- 42: Seibold: „Die Verfahren der Mähdruschernte.“ 1954. Preis DM 3,—
- 43: Franke, Köbsell, Kiene, Blum, Bockhorn: „Schlepper im Einsatz und in der Prüfung.“ 1955. Preis DM 1,—
- 44: Graeser: „Bäuerliches Werken.“ 1955. Preis DM 2,—



