

Atmungsverluste bei Weizen in Abhängigkeit von Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt

Institut für landwirtschaftliche Botanik, Bonn

Mit zunehmendem Mähdrusch wird der Anfall an feuchtem, nicht lagerfähigem Getreide größer. Gewerbliche und genossenschaftliche Trocknungsanlagen können den ständig steigenden Anfall an feuchtem Getreide nicht verarbeiten und werden auch in Zukunft nur einen Teil des feuchten Getreides aufnehmen können. Da außerdem zwei Drittel der gesamten Getreideernte in den Erzeugerbetrieben verwertet werden [1], ist es sinnvoll, diesen Teil der Getreideernte auch im landwirtschaftlichen Betrieb zu trocknen. Die Forderung nach brauchbaren und billigen hofeigenen Trocknungsmöglichkeiten führte zur Entwicklung der Belüftungstrocknung [2].

Bei der Belüftungstrocknung muß das feuchte Getreide je nach Wassergehalt in sechs bis zehn Tagen auf einen lagerfähigen Zustand (etwa 14% H₂O) herabgetrocknet werden [3]. Wird diese zeitliche Grenze überschritten, tritt eine Verminderung der Qualität (Keim-, Backfähigkeit, Futterwert) in der noch nicht getrockneten Schicht ein. Ferner muß aber auch mit einer Verringerung der Quantität gerechnet werden, da durch die Atmung des Getreidekorns Trockensubstanz verloren geht.

Die Atmungsintensität (Höhe der Atmung) von Getreidekörnern ist vom Wassergehalt, von der Temperatur und von der Lagerzeit abhängig [4...7]. Bei der Belüftungstrocknung wandert die Trocknungszone durch die Getreideschicht hindurch. Eine ständig kleiner werdende Getreideschicht bleibt somit längere Zeit feucht und atmet stärker als die bereits getrocknete Getreideschicht. Hier müssen quantitative Verluste (Atmungsverluste) auftreten, die aber im Gegensatz zu Qualitätseinbußen unsichtbar bleiben, da in der Regel genaue Gewichtsanalysen fehlen. In der vorliegenden Arbeit [8] wird versucht, die Höhe der Atmungsverluste unter den Bedingungen der Belüftungstrocknung zu ermitteln. Gleichzeitig wird geprüft, inwieweit zwischen Atmungsverlusten und Qualitätsschäden des Getreides ein Zusammenhang besteht¹⁾.

Versuchsmethode und Auswertung

Die Untersuchungen wurden an Winterweizen der Sorte Carsten VIII (Hochzuchtsaatgut) der Ernten 1957 und 1958 durchgeführt. Sie erstreckten sich auf die Temperaturstufen +10° C; +20° C und +30° C. Die Atmungsintensität wurde am Beginn der Lagerung und nach 5-, 10- und 15tägiger Lagerzeit gemessen, und zwar bei Getreidefeuchtigkeiten von 18; 22 und 26% (bezogen auf Naßbasis). Die Wahl der genannten Bereiche berücksichtigt die bei der Belüftungstrocknung auftretenden Bedingungen.

Die Versuchsproben (jeweils 1,5 kg) wurden durch Zusatz der entsprechenden Wassermengen auf den jeweils gewünschten Wasser-

Tafel 1: Atmungsintensität von Winterweizen (Carsten VIII/57) in Abhängigkeit von Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt
(Mittelwerte aus je 6 Meßergebnissen)

Temperatur [° C]	Lagerzeit [Tag]	Atmungsintensität bei einem Wassergehalt von		
		18% mm ³ CO ₂ /h/1 g Trock.-subst.	22% 	26%
+10	0	1,4	2,2	7,1
	5	1,0	2,5	5,3
	10	1,3	2,4	10,3
	15	0,8	4,8	18,4
	20	1,5	3,5	27,2
+20	0	5,6	9,2	17,4
	5	4,6	12,2	27,4
	10	5,2	30,7	83,7
	15	8,9	43,4	108,8
+30	0	15,8	22,0	46,6
	5	16,0	31,6	48,2
	10	26,2	64,5	197,6
	15	24,9	102,2	312,8

gehalt gebracht. Das so vorbereitete Getreide lagerte in temperaturkonstanten Kammern in großen Exsikkatoren (Volumen etwa 10 l) über Schwefelsäure. Deren Konzentration war auf den notwendigen Wasserdampfpartialdruck, der dem Feuchtigkeitsgleichgewicht von Getreide mit Luft in Abhängigkeit von der Temperatur entspricht, eingestellt. Eine ausreichende Belüftung der lagernden Versuchsproben war gewährleistet.

Zur Bestimmung der Atmung der Getreidekörner wurde eine Warburg-Apparatur benutzt. Bei dieser Methode werden die Versuchsproben in von der Außenluft abgeschlossene Gefäße gebracht. Mit Hilfe von Manometern wird der Atmungsgaswechsel, der in geschlossenen Gefäßsystemen als Änderung des Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdruckes zum Ausdruck kommt, gemessen beziehungsweise aus den Ergebnissen berechnet [9...11].

Blindversuche mit der Warburg-Apparatur ergaben die Notwendigkeit, die Untersuchungen nach statistischen Grundsätzen zu gestalten, wobei die Streuung der Meßapparatur stets berücksichtigt wird, so daß sie das Ergebnis der Versuche nicht mehr beeinträchtigt. Das hier angewandte statistische Analyseverfahren wird in der biologischen Statistik als „Faktorielle Analyse“ bezeichnet [12...14]. Es gestattet, die Wirkung bestimmter Faktoren auf ein Geschehen nach Art und Größe zu ermitteln, und zwar sowohl hinsichtlich des Betrages, den jeder einzelne Faktor für sich getrennt beisteuert, als auch hinsichtlich des Zusammenwirkens verschiedener Faktoren (Wechselwirkungen).

Die Atmungsmessungen erfolgten für jede mögliche Kombination der verschiedenen Temperatur-, Lagerzeit- und Wassergehaltsstufen an jeweils drei Proben (je Probe 20 Körner) mit zwei Wiederholungen. Für jede Faktorenkombination stehen damit sechs Meßergebnisse zur Auswertung zur Verfügung.

Die Meßergebnisse der Atmungsintensität zu Beginn der Lagerung und nach 5-, 10- und 15tägiger Lagerzeit erlauben die quantitative Berechnung der Atmung für die gesamte Lagerzeit, ausgedrückt als Kohlendioxidproduktion. Bei der Berechnung der Kohlendioxidproduktion für jede Lagerzeit genügt eine lineare Interpolation zwischen den am Beginn und am Ende der verschiedenen Lagerzeiten gemessenen Atmungsintensitäten. Die statistische Analyse der Meßergebnisse zeigt nämlich, daß die linearen Komponenten der Abhängigkeit der Atmungsintensität von Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt überwiegen. Einige signifikante Komponenten höheren Grades können die Ergebnisse nicht wesentlich beeinflussen.

Aus der so berechneten Kohlendioxidproduktion für die untersuchten Lagerzeiten läßt sich jetzt der Gewichtsverlust an Getreidetrockensubstanz durch Atmung ableiten. Nach der Atmungsgleichung errechnet man mit Hilfe der Molekulargewichte, daß ein mg CO₂ 0,6475 mg Saccharose entspricht. Ferner wurde festgestellt, daß der Atmungsquotient $\left(RQ = \frac{CO_2}{O_2} = \text{das}\right.$

Verhältnis von Kohlendioxidabgabe zur Sauerstoffaufnahme) bei der Atmung der Getreidekörner nicht sehr von 1 abweicht. Daraus folgert, daß wahrscheinlich hauptsächlich Kohlenhydrate durch Atmung abgebaut werden. Schließlich dürfen die auf diesem Wege aus den Meßergebnissen berechneten Mengen an Kohlenhydraten (Saccharose), ohne einen großen Fehler befürchten zu müssen, gleich den Gewichtsverlusten an Getreidetrockensubstanz durch Atmung gesetzt werden.

Um festzustellen, ob zwischen quantitativen Verlusten durch Atmung und qualitativen Veränderungen der Getreidekörner ein Zusammenhang besteht, wurde die Keimschnelligkeit und der Schimmelbefall der Versuchsproben bestimmt. Die Proben für alle Untersuchungen wurden den gleichen Versuchsproben entnommen,

¹⁾ Die Untersuchungen wurden mit dankenswerter Unterstützung des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, im Institut für landwirtschaftliche Botanik (Dir.: Prof. Dr. H. ULLRICH), Bonn, ausgeführt

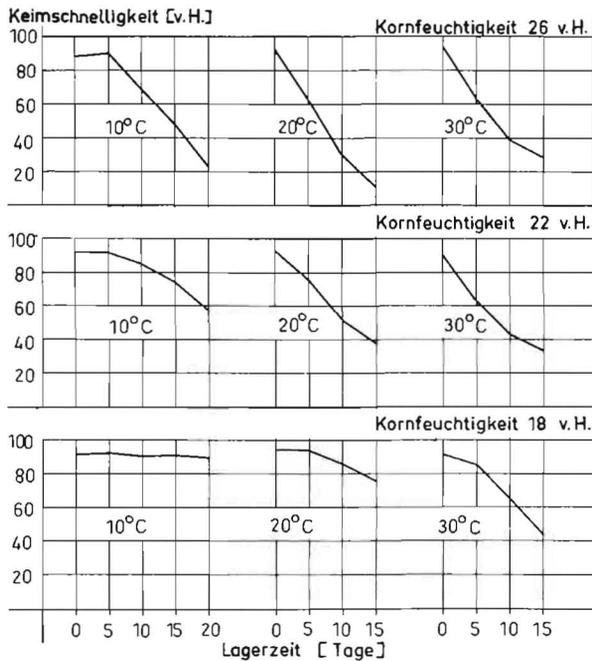


Bild 1: Keimschnelligkeit von Winterweizen (Carsten VIII/57) in Abhängigkeit von der Lagerzeit bei verschiedenen Temperaturen und Wassergehalten (in %)

so daß die Ergebnisse direkt vergleichbar sind. Die Keimprüfungen wurden im Sandbett gemäß den Richtlinien für die Untersuchung von Saatgut [15] durchgeführt. Als Maßstab der Keimschädigung wurde die Keimschnelligkeit gegenüber der Keimfähigkeit bevorzugt, da sie bei Keimschäden noch empfindlicher reagiert. Eine statistische Analyse erfolgte ebenfalls.

Die quantitative Bestimmung des Schimmelbefalls erfolgte an jeweils 4×100 Körnern (bei zwei Wiederholungen) nach dem Befallsgrad, bei dem makroskopisch fünf Stufen unterschieden wurden. Hier konnte auf eine statistische Analyse verzichtet werden, da die Schädigung der Keimschnelligkeit als eine direkte Folge des Schimmelbefalls angesehen werden muß und damit der Schädigungsgrad der Keimschnelligkeit indirekt auch als Maß für den Schimmelbefall gewertet werden darf.

Atmungsintensität, Keimschnelligkeit und Schimmelbefall

Tafel 1 zeigt die Atmungsintensität der Getreidekörner unter den verschiedenen Bedingungen in $\text{mm}^3 \text{CO}_2$ je Stunde und 1 g Trockensubstanz, und die Bilder 1 bis 4 das Verhalten von Keimschnelligkeit und Schimmelbefall derselben Versuchsproben.

Die Atmungsintensität bleibt bei 18% Wassergehalt und $\pm 10^\circ \text{C}$ während der geprüften Lagerzeit konstant, dasselbe gilt für die Keimschnelligkeit, ein geringer Schimmelbefall ist nach 20 Tagen erkennbar. Unter den gleichen Bedingungen, jedoch bei 22% Wassergehalt beginnt zwischen 10 und 15 Tagen ein geringer Anstieg der Atmungsintensität. Im gleichen Zeitraum wird Schimmelbefall sichtbar, während die Keimschnelligkeit bereits zwischen dem 5. und 10. Tage abnimmt. Bei 26% Wassergehalt nimmt die Atmungsintensität schon zwischen dem 5. und 10. Tage der Lagerung zu, im gleichen Zeitraum wird ein deutlicher Rückgang der Keimschnelligkeit erkennbar, Schimmelbefall wird erst zwischen 10 und 15 Tagen Lagerzeit sichtbar.

In der nächsthöheren Temperaturstufe $+20^\circ \text{C}$ wird bei 18% Wassergehalt ein Anstieg der Atmungsintensität nach 10 Tagen Lagerzeit verzeichnet, die Keimschnelligkeit nimmt bereits zwischen 5 und 10 Tagen Lagerzeit ab, und der erste Schimmelbefall setzt im gleichen Zeitraum ein. Bei 22% Wassergehalt nimmt die Atmungsintensität schon in den ersten 5 Tagen zu, dasselbe gilt für den Schimmelbefall und die Keimschnelligkeit. Die gleiche Tendenz ist bei 26% Wassergehalt in verstärktem Umfang zu beobachten.

In der Temperaturstufe $+30^\circ \text{C}$ steigt die Atmungsintensität bei 18% Wassergehalt zwischen 5 und 10 Tagen Lagerzeit an, während ein Rückgang der Keimschnelligkeit und beginnender Schimmel-

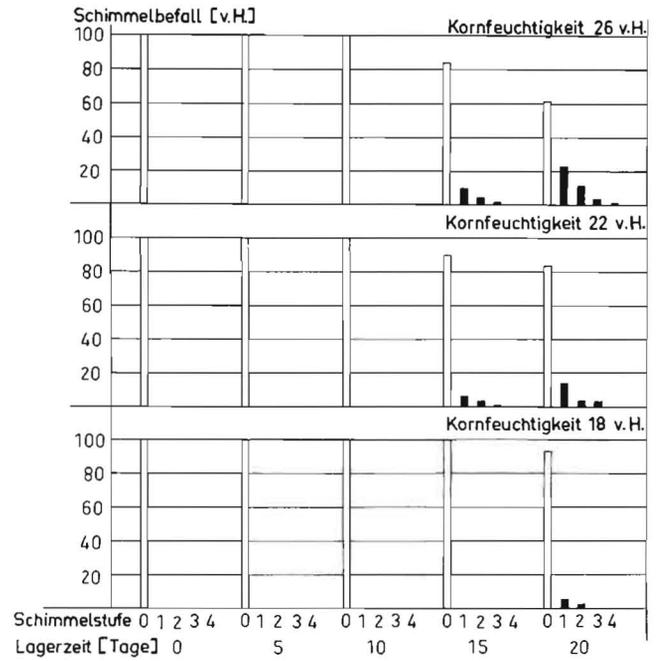


Bild 2: Schimmelbefall von Winterweizen (Carsten VIII/57) in Abhängigkeit von Lagerzeit und Wassergehalt bei $+10^\circ \text{C}$ (in %)

befall innerhalb der ersten 5 Tage Lagerzeit festgestellt werden. Bei 22% Wassergehalt nimmt die Atmungsintensität bereits in den ersten 5 Tagen zu, ebenso geht die Keimschnelligkeit zurück und gleichzeitig tritt Schimmelbefall auf. Die gleiche Tendenz gilt für die Proben mit 26% Wassergehalt.

Die statistische Analyse der Meßergebnisse der Atmungsintensität läßt erkennen, daß Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt die Höhe der Atmungsintensität unmittelbar beeinflussen. Ferner bestehen zwischen Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt signifikante Wechselwirkungen. Das gleiche Ergebnis zeigt die statistische Analyse der Untersuchung der Keimschnelligkeit. Auf eine Analyse des Schimmelbefalls wurde aus bereits genannten Gründen verzichtet.

Verluste an Getreidetrockensubstanz durch Atmung

Mit Hilfe der Atmungsintensität nach verschiedenen langen Lagerzeiten wurden die durch Atmung bedingten Verluste der Weizen-

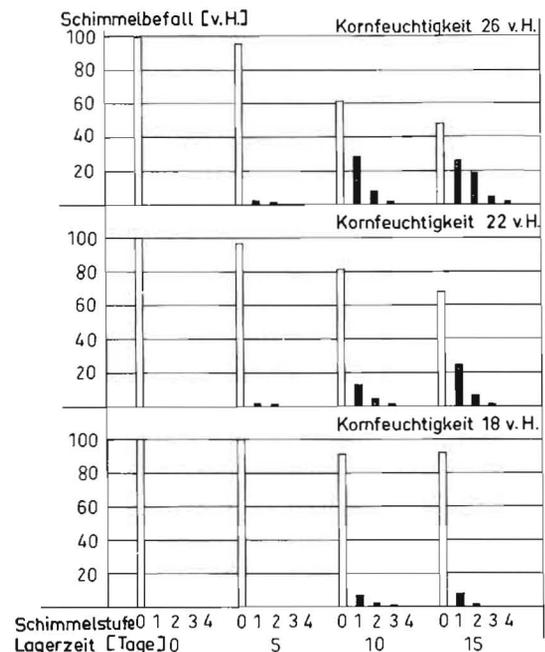


Bild 3: Schimmelbefall von Winterweizen (Carsten VIII/57) in Abhängigkeit von Lagerzeit und Wassergehalt bei $+20^\circ \text{C}$ (in %)

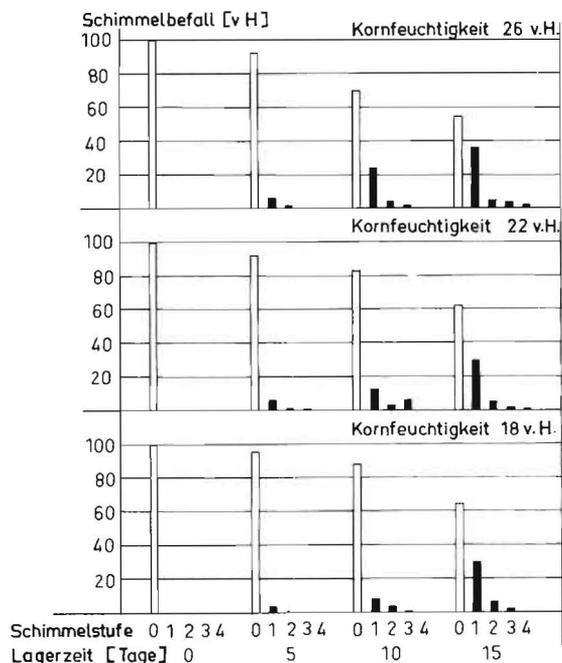


Bild 4: Schimmelbefall von Winterweizen (Carsten VIII/57) in Abhängigkeit von Lagerzeit und Wassergehalt bei +30° C (In %))

körner an Getreidetrockensubstanz berechnet (vgl. oben). Die Ergebnisse zeigt Tafel 2.

Bei +10° C und 18% Wassergehalt treten auch nach 20 Tagen keine Atmungsverluste auf. Die Proben mit 22% Wassergehalt zeigen ebenfalls keine nennenswerten Atmungsverluste, jedoch werden Keimschäden zwischen 5 und 10 Tagen und Schimmel zwischen 10 und 15 Tagen sichtbar. Ein Wassergehalt von 26% läßt die Atmungsverluste in 20 Tagen bis auf 0,78% ansteigen, die Keimschnelligkeit wird schon in den ersten 5 Tagen geschädigt und Schimmel zwischen 10 und 15 Tagen sichtbar.

In der Temperaturstufe +20° C sind die Atmungsverluste bei 18% Wassergehalt nach 15 Tagen mit 0,26% gering, Keimschäden und Schimmelbefall beginnen zwischen 5 und 10 Tagen. Bei 22% Wassergehalt erreichen die Atmungsverluste 1,0%, gleichzeitig sind erhebliche Keimschäden und Schimmelbefall zu verzeichnen. Die Proben mit 26% Wassergehalt weisen Atmungsverluste von 2,65% auf, Keimschäden und Schimmel treten bereits in den ersten 5 Tagen auf.

Die Proben der Temperaturstufe +30° C erreichen bei 18% Wassergehalt nach 15 Tagen 0,95% an Atmungsverlusten, aber Keimschäden und Schimmelbefall müssen schon nach 5 Tagen verzeichnet werden. Das gleiche gilt für die Proben mit 22 und

Tafel 2: Trockensubstanzverluste (Atmungsverluste) von Winterweizen (Carsten VIII/57) in Abhängigkeit von Temperatur, Lagerzeit und Getreidefeuchtigkeit

Temperatur [° C]	Lagerzeit [Tag]	Trockensubstanzverluste bei einem Wassergehalt von		
		18% [%]	22% [%]	26% [%]
+10	1	0,00426	0,00671	0,0216
	5	0,0183	0,0358	0,0945
	10	0,0358	0,0732	0,213
	15	0,0518	0,128	0,432
	20	0,0693	0,191	0,780
+20	1	0,0171	0,0280	0,0530
	5	0,0777	0,163	0,341
	10	0,152	0,490	1,188
	15	0,260	1,055	2,655
+30	1	0,0482	0,0671	0,142
	5	0,242	0,408	0,722
	10	0,564	1,141	2,596
	15	0,953	2,411	6,485

26% Wassergehalt, deren Atmungsverluste auf 2,41 beziehungsweise 6,48% ansteigen.

Vergleicht man die Ergebnisse miteinander, so zeigt sich, daß mit steigendem Wassergehalt und steigender Temperatur ein Anstieg der Atmungsintensität verbunden ist, der mit zunehmender Lagerzeit auch Trockensubstanzverluste verursacht. Sobald bei längerer Lagerzeit Schimmelbefall auftritt, werden die Verluste an Trockensubstanz durch Atmung weiter erhöht. Der Schimmelbefall schädigt gleichzeitig die Keimschnelligkeit.

Die Trockensubstanzverluste durch Atmung können somit auf zwei verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Das Getreidekorn als lebender Organismus atmet (Kornatmung). Zusätzlich tritt bei Befall mit Schimmelpilzen deren Atmung auf (Pilz-atmung). Zu Beginn der Lagerzeit waren die Körner frei von Schimmel. Die gemessene Atmungsintensität (Tafel 1) geht zu Lasten der Kornatmung. Der Vergleich der Atmungsintensitäten bei verschiedenen Wassergehalten und Temperaturen bei 0 Tagen Lagerzeit zeigt, daß die Höhe der Kornatmung von der Temperatur und vom Wassergehalt beeinflusst wird, und zwar nimmt die Kornatmung sowohl bei steigender Temperatur als auch mit zunehmendem Wassergehalt zu. Innerhalb einer Wassergehalts- und Temperaturstufe kann ein Anstieg der Atmungsintensität immer dann festgestellt werden, wenn mit zunehmender Lagerzeit Schimmelbefall auftritt (vgl. Tafel 1 und Bilder 2—4). Der Umfang, den die Pilz-atmung unter den für Schimmelwuchs günstigen Bedingungen erreichen kann, beträgt ein Mehrfaches der Kornatmung. Während die Kornatmung immer stattfindet und damit Atmungsverluste verursacht, ist die Pilz-atmung nur dann an den Atmungsverlusten beteiligt, wenn Schimmelbefall bei längerer Lagerung des feuchten Getreides auftritt.

Die Ergebnisse stimmen weitgehend mit denen von BOTTOMLEY, CHRISTENSEN und GEDDES [16] überein. Diese Autoren prüften die Wirkung verschiedener Temperaturen und O₂-Konzentrationen der Luft auf den Schimmelwuchs, die Keimfähigkeit und verschiedene biochemische Eigenschaften (Fettsäure, gesamt- und wasserlöslicher Stickstoff, reduzierende und nichtreduzierende Zucker) bei Mais, der mit verschiedenen Wassergehalten 12 Tage lagerte. Ein Vergleich der Atmungsmessungen anderer Autoren [5; 6; 7; 17] an Weizen mit 30° C und den entsprechenden eigenen Werten ergibt, abgesehen von geringen Schwankungen, eine deutliche Übereinstimmung bei vergleichbaren Wassergehalten der Körner.

Interessant ist ferner ein Vergleich mit den Arbeiten von WENNER [3] und BEWER [18], die den konservierenden Einfluß von Belüftung und kühler Temperatur untersuchten. BEWER stellte fest, daß feuchtes Getreide bei niedrigen Temperaturen eine begrenzte Zeit konserviert werden kann. In vergleichbaren Temperatur- und Feuchtigkeitsbereichen ergibt sich eine annähernde Übereinstimmung mit den hier ermittelten Werten. WENNER kam zu der Erkenntnis, daß die Belüftung von feuchtem Getreide mit kühler Luft konservierend wirkt und den Schimmelbefall verzögert, und zwar um so mehr, je stärker der Luftzug ist. Die Zahlen in Tafel 3 zeigen, daß durch ständige Belüftung die Schädigung feuchten Getreides zwar nicht verhindert, aber doch hinausgeschoben werden kann. Die Versuchsanordnung bei BEWER ließ nur eine Umwälzung der Luft zu, um relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur konstant zu halten, während in den eigenen Versuchen die Luft absätzig erneuert wurde, um einen Einfluß veränderter Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdrücke auf die Atmung zu verhindern. Im Hinblick auf die technische Durchführung der Belüftungstrocknung mit dem geringsten Energieaufwand empfiehlt WENNER für Getreide mit weniger als 22% Wassergehalt 10 Tage, mit mehr als 22% Wassergehalt 6 Tage als maximal zulässige Trocknungszeit, wenn Keimschäden vermieden werden sollen.

Hierbei drängt sich natürlich die Frage auf, wie weit die konservierende Wirkung kühler Luft durch Kombination von Belüftung und Kühlung gesteigert werden kann und die von WENNER genannten Verderbengrenzen noch hinausgeschoben werden können. Ansätze hierzu zeigen ANIANSSON und NORÉN [19] in Schweden mit natürlich kalter Luft, während man in Frankreich die zur Belüftung verwendete Luft künstlich kühlt [20].

Voraussetzung für den Schimmelwuchs ist eine ausreichende Luftfeuchtigkeit und eine genügend hohe Temperatur, die aber unter

Tafel 3: Der Einfluß der Belüftung auf den Zeitpunkt der Schädigung lagernden feuchten Getreides

Autor	Getreideart	Wassergehalt [%]	Temperatur [°C]	m ³ Luft je Std. und m ²	Ergebnis
WENNER [3] . .	Hafer	22	15	5	Schädigung der Keimfähigkeit nach 13 Tagen
		22	15	25	Schädigung der Keimfähigkeit nach 20 Tagen
		22	15	50	Schädigung der Keimfähigkeit nach 22 Tagen
		22	15	100	Schädigung der Keimfähigkeit nach 27 Tagen
BEWER [18] . .	Roggen	22	10	Luftumwälzung	maximale Lagerzeit ¹⁾ 12 Tage
		22	15		maximale Lagerzeit 9 Tage
		22	20		maximale Lagerzeit 6 Tage
eigene Werte [8]	Weizen	22	10	absätzliche Lüfterneuerung	Keimschnelligkeit zwischen 5. und 10. Tag geschädigt Schimmelbefall zwischen 10. und 15. Tag sichtbar
		22	20	absätzliche Lüfterneuerung	Keimschnelligkeit zwischen 1. und 5. Tag geschädigt Schimmelbefall zwischen 1. und 5. Tag sichtbar

¹⁾ BEWER ermittelt die maximale Lagerzeit aus der Keimschnelligkeit

den Bedingungen der Belüftungstrocknung gegeben sind. Hier berichtet STILLE [21], daß der Schimmelpilz *Aspergillus glaucus* als ein Trockenheit liebender Pilz bei abnehmender relativer Luftfeuchtigkeit als letzter seine Entwicklung einstellt. STILLE ermittelte bei *Aspergillus glaucus* als Grenzwert für die Sporenkeimung 70%, für die Sporenbildung 74% relative Luftfeuchtigkeit bei +31° C. Diese und andere Ergebnisse weisen darauf hin, daß Schimmelpilze neben anderen Arten der Mikroflora (Bakterien) die Ursache von Schäden sein können.

Atmungsverluste bei der Belüftungstrocknung

Mit welchen Atmungsverlusten muß nun bei der Belüftungstrocknung gerechnet werden? Hier ist normalerweise nur die Kornatmung von Bedeutung, da die Pilzatmung erst bei beginnendem Schimmelbefall auftritt, der durch die Belüftung vermieden werden soll. Innerhalb der Verderbengrenzen von 6 Tagen bei Getreide mit mehr als 22% Wassergehalt und von 10 Tagen mit weniger als 22% Wassergehalt steigen die Atmungsverluste in ruhender Luft nur wenig über 1% der Ausgangstrockensubstanz an (vergleiche Tafel 2). Werden dagegen bei unzureichender Bemessung der Belüftung die Verderbengrenzen überschritten, so treten als Folge des dann einsetzenden Schimmelbefalls neben Qualitätsschäden auch höhere Atmungsverluste ein. Hier können die Atmungsverluste als unsichtbare Verluste neben Keimschäden als sichtbaren Verlusten sehr bald 3 bis 6% der Trockensubstanz in den oberen Schichten erreichen.

Ob die Kornatmung bei Luftströmung im Vergleich zu ruhender Luft ansteigt, wurde bisher nicht geklärt. In einer Getreideschüttung mit ruhender Luft wird die Atmungsintensität ansteigen, wenn die bei der Atmung freiwerdende Wärme nicht abgeführt wird, die Temperatur also ansteigt. Andererseits wurde festgestellt, daß bei starkem Absinken des Sauerstoffgehaltes ebenso wie bei starkem Anstieg des Kohlendioxidgehaltes der Luft in einer Getreideschüttung die Atmung geringer wird und schließlich zum Erliegen kommt [17]. In diesem Falle muß aber erwartet werden, daß anaerobe Umsetzungen beginnen. Sie treten ebenfalls als Trockensubstanzverluste in Erscheinung. Sofern bei ruhender Luft Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt sowie die Temperatur konstant gehalten werden, dürfte in der Höhe der Kornatmung im Vergleich zu strömender Luft kein nennenswerter Unterschied bestehen. Jedoch weist WENNER [3] darauf hin, daß die Entwicklung von Mikroorganismen in Getreide, das von Frischluft durchströmt wird, später einsetzt als in Getreide mit ruhender Luft (vergleiche Tafel 3). Durch die Belüftung wird also der Beginn der Pilzatmung verzögert. Infolgedessen ist die Annahme berechtigt, daß die Trockensubstanzverluste bei der Belüftungstrocknung noch unter den hier ermittelten Werten liegen werden, sie aber bestimmt nicht überschreiten. Der Hinweis, daß Getreide mit gleichem Wassergehalt bei einer Steigerung des Luftwechsels mehr Kohlendioxid ausscheidet [22], kann nicht gedeutet werden, da die Versuchsbedingungen nicht bekannt sind. Allerdings gelten die hier ermittelten Atmungsverluste nicht für

die Gesamtmenge des belüfteten Getreides, sondern nur für die zuletzt getrocknete Schicht. Bei der Belüftungstrocknung wächst nämlich die bereits getrocknete Schicht ständig, während umgekehrt die noch feuchte Schicht, in der Atmungsverluste auftreten können, sich ständig verringert. Die ermittelten Atmungsverluste von rund 1% bis zur Verderbengrenze gelten somit nur für die zuletzt getrocknete Schicht, während die Atmungsverluste in den bereits früher getrockneten Schichten auch dementsprechend geringer sind. Der Durchschnitt der Atmungsverluste bei der nach WENNERS Vorschlägen [3] richtig bemessenen Belüftungstrocknung liegt also mit Sicherheit noch unter den hier erarbeiteten Werten.

Im Gegensatz zu Qualitätsminderungen sind Atmungsverluste immer vorhanden. Bis zum Beginn von Qualitätsminderungen sind die Atmungsverluste allein auf die Kornatmung zurückzuführen. Sobald Qualitätsschäden beobachtet werden, insbesondere Schimmelbefall, kommen zu den Verlusten durch Kornatmung noch erhebliche Atmungsverluste durch die Pilzatmung hinzu, die dann zusammen 1% überschreiten können. Zwischen Atmungsverlusten, Schimmelbefall und Keimschäden besteht ein enger Zusammenhang, da der Schimmelbefall schon in seinem Anfangsstadium auch die Keimeigenschaften deutlich schädigt. Die Schimmelbildung ist also ein Zeichen dafür, daß sowohl mit höheren Atmungsverlusten als auch mit Keimschäden zu rechnen ist.

Für den landwirtschaftlichen Betrieb sind Qualitätsschäden und Atmungsverluste von entscheidender Bedeutung. Der Wassergehalt des geernteten Getreides und die Temperatur sind gegebene Größen. Sie bestimmen die Länge der ohne Schäden möglichen Lagerzeit des Getreides im feuchten Zustand. Innerhalb dieser Grenze sind auch die durch Kornatmung verursachten Atmungsverluste gering und wirtschaftlich unbedeutend. Wird diese Grenze überschritten, sind Qualitätsminderungen und als Folge der zusätzlichen Pilzatmung auch höhere Atmungsverluste zu erwarten. Die wirtschaftliche Bedeutung der Belüftungstrocknung liegt also darin, feucht geerntetes Getreide vor Eintritt des Verderbens mit geringem Aufwand in einen lagerfähigen Zustand zu bringen; gleichzeitig werden auch die zusätzlich auftretenden Atmungsverluste so niedrig wie möglich gehalten.

Zusammenfassung

Mit Hilfe der Belüftungstrocknung wird feuchtes Erntedruschgetreide langsam auf einen lagerfähigen Zustand zurückgetrocknet. Es sollte untersucht werden, welche unsichtbaren Verluste durch Veratmung von Korntrockensubstanz auftreten können. Mit einer Warburg-Apparatur wurden Atmungsmessungen an Weizenkörnern bei verschiedenen Temperaturen, Lagerzeiten und Wassergehalten durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Atmungsmessungen erfolgte die Berechnung der Trockensubstanzverluste durch Atmung. Es muß unterschieden werden zwischen den Atmungsverlusten des Kornes als lebender Organismus (Kornatmung) und denen, die durch die Atmung eventuell vorhandener

Schimmelpilze (Pilzatumung) entstehen. Die Atmungsverluste, die durch die Kornatmung innerhalb der von WENNER für die Belüftungstrocknung gefundenen Verderbengrenze von 10 Tagen für Getreide mit weniger als 22% Wassergehalt und von 6 Tagen für Getreide mit mehr als 22% Wassergehalt verursacht werden, überschreiten 1% nur wenig. Dabei gilt dieser Wert nur für die zuletzt getrocknete obere Schicht. In den bereits eher getrockneten Schichten sind die Atmungsverluste entsprechend geringer. Ein etwaiger Einfluß ständiger Belüftung auf die Höhe der Atmungsverluste wurde nicht untersucht.

Wird die Verderbengrenze überschritten, steigen die Atmungsverluste schnell an und können schon nach 15 Tagen je nach Temperatur und Wassergehalt bis zu 6,5% der Ausgangstrocken-substanz erreichen. Gleichzeitig wird die Keimschnelligkeit geschädigt. Ursache sowohl höherer Atmungsverluste als auch von Keimschäden ist die Entwicklung einer Mikroflora, insbesondere von Schimmelpilzen (Pilzatumung). Erste, sichtbare Schimmelbildung ist als ein Zeichen einer bereits begonnenen Schädigung zu werten. Als Folgerung muß daher für die landwirtschaftliche Praxis die Forderung gestellt werden, feucht geerntetes Getreide innerhalb der mehrfach genannten Verderbengrenzen auf einen lagerfähigen Zustand zu trocknen, um Qualitätsschäden zu vermeiden; gleichzeitig werden auch Substanzverluste infolge Atmung so niedrig wie möglich gehalten.

Schrifttum

- [1] PLATE, R.: Erntedrusch und Lagerhaltung vom Markt gesehen. Landtechnik 10 (1955), S. 434—436
- [2] DENCKER, C. H., H. HEIDT und H. L. WENNER: Einrichtungen auf dem Hofe zur Lagerung und Trocknung von Erntedruschgetreide. (Flugschrift Nr. 1 des KTL) Verlag H. Neureuter, München-Wolfratshausen. 3. Aufl. 1961
- [3] WENNER, H. L.: Die Voraussetzungen für die Lagerung und Belüftung von feucht geerntetem Getreide. (Berichte über Landtechnik, Heft 45) Verlag H. Neureuter, München-Wolfratshausen 1955
- [4] BAILEY, C. H., und A. M. GERJAR: Respiration of stored wheat. Journal of Agricultural Research 12 (1918), S. 685—713
- [5] HUMMEL, B. C. W. und andere: Comparative changes in respiration, viability, and chemical composition of moldfree and moldcontaminated wheat upon grain. Cer. Chem. 31 (1954), S. 143—150
- [6] MILNER, M., C. M. CHRISTENSEN und W. F. GEDDES: Wheat respiration in relation to moisture content, mold growth, chemical deterioration and heating. Cer. Chem. 24 (1947), S. 182—199
- [7] MILNER, M., C. M. CHRISTENSEN und W. F. GEDDES: Influence of certain mold inhibitors on respiration of moist wheat. Cer. Chem. 24 (1947), S. 507—517
- [8] SCHOLZ, B.: Atmungsverluste bei Weizen in Abhängigkeit von Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt des Getreides. Diss. Bonn 1960
- [9] DIXON, M.: Manometric Methods. Cambridge 1934
- [10] ULLRICH, H., und W. RÜHLAND: Mikrospektrometrische Untersuchungen an höheren Pflanzen I. Planta 5 (1928), S. 361—380
- [11] UMBREIT, W. W., R. H. BURGESS und J. H. STAUFFER: Manometric Techniques and Tissue Metabolism. Minneapolis 1951
- [12] LINDER, A.: Statistische Methoden. Verlag Birkhäuser, Basel 1951
- [12] LINDER, A.: Plänen und Auswerten von Versuchen. Verlag Birkhäuser, Basel-Stuttgart 1953
- [13] RUNDFELDT, H.: Über die Vorteile einer erweiterten Auswertung von Feldversuchen. (Arbeiten der DLG, Band 44) DLG-Verlag, Frankfurt 1957
- [14] WEBER, E.: Grundriß der biologischen Statistik für Naturwissenschaftler, Landwirte und Mediziner. Verlag VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1957
- [15] HERMANN, R.: Die Untersuchung von Saatgut. In: Methodenbuch V. Neudamm und Berlin 1941, S. 12—23
- [16] BOTTOMLEY, R. A., C. M. CHRISTENSEN und W. F. GEDDES: The influence of various temperatures, humidities and oxygen concentrations on mold growth and biochemical changes in stored yellow corn. Cer. Chem. 27 (1950), S. 271—296
- [17] PETERSON, A. und andere: Influence of oxygen and carbon dioxide concentrations on mold growth and grain deterioration. Cer. Chem. 33 (1956), S. 53—66
- [18] BEWER, H. E.: Getreidekonservierung mit kalter Nachtluft. (Berichte über Landtechnik, Heft 47) Verlag H. Neureuter, München-Wolfratshausen 1957
- [19] ANJANSSON, G., und O. NORÉN: Hur man bygger och använder planbottentorkar för spånmal. Jordbrukstekniska Institutet, Meddelande nr 276, Uthuna-Uppsala 1958
- [20] Prospekt "Point froid" der Fa. Constructions Frigorifiques "Phenix", Paris o. J.
- [21] STILLE, B.: Der mikrobielle Verderb getrockneter Lebensmittel in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit. Vorratspflege und Lebensmittelorschung 5 (1942), S. 403—408
- [22] STEPANTSCHEW, F.: Der Einfluß von aktiver Ventilation auf die Atmungsintensität des Kornis. Millerelei- und Elevatorwirtschaft 3 (1940), S. 18—20 (Russisch). Als Referat in: Zeitschrift für das gesamte Getreidewesen 28 (1941), S. 84

Résumé

Bernhard Scholz: "Respiration Losses of Wheat in Relation to Temperature, Storage Time and Moisture Content."

The purpose of the present investigation was to determine what invisible losses can occur through respiration of dry grain substances. Respiration measurements of wheat grains were made with a "Warburg Apparatus" at varying temperatures, moisture content and storage times. The loss due to respiration of dry substances was calculated from the respiratory measurements. It is necessary to differentiate between the respiratory losses of the grain regarded as a living organism (grain respiration) and that which is due to the

possible presence of mould fungus (fungus respiration). The respiratory losses which arise from grain respiration within the limits of decay as determined for the type of air drying in use, rarely exceed 1% by a small margin. This value is only valid for the upper layer which has most recently dried. The respiratory losses for the other layers that have already been dried for longer periods are much lower. A possible influence of constant ventilation on the magnitude of the respiratory losses was not investigated.

If the limit of decay is exceeded, the respiratory losses rise very rapidly and, dependent upon temperature and moisture content, can attain up to 6.5% of the initial dry substance. The velocity of germination is, at the same time, adversely affected. The cause of the higher respiratory losses as well as the damage to the germ is the evolution of micro-flora. This applies in particular to mould fungus (fungus respiration). The first visible growth of fungus must be regarded as a sign that damage has already taken place. As a consequence, good agricultural practice requires that, in order to avoid losses in quality, grain that has been harvested whilst wet must be dried within the limits of decay, so that it may be stored. At the same time, substance losses due to respiration must be kept as low as possible.

Bernhard Scholz: «Détermination des pertes par respiration du blé en fonction de la température, de la durée de stockage et de la teneur en eau.»

On a voulu examiner les pertes visibles de substances sèches provoquées par la respiration des grains. On a mesuré la respiration du blé à l'aide d'un appareil Warburg en variant la température, la durée de stockage et la teneur en eau. On a calculé au moyen de ces mesures les pertes en substances sèches provoquées par la respiration. Il faut distinguer entre les pertes par la respiration du grain en tant qu'organisme vivant (respiration du grain) et celles causées par la respiration de champignons éventuellement présents (respiration des cryptogames). Les pertes par respiration sont peu supérieures à 1% pour les grains dont l'état est tel qu'ils ne dépassent pas les seuils de putréfaction déterminés pour le séchage par aération. Ce pourcentage n'est valable que pour la couche supérieure séchée la dernière. Les pertes par respiration sont encore plus réduites dans les couches inférieures séchées plus tôt. On n'a pas examiné l'influence éventuelle d'une aération continue sur les pertes.

Si les seuils de putréfaction sont dépassés, les pertes par respiration augmentent rapidement et peuvent aller jusqu'à 6,5% de la substance sèche, après 15 jours déjà, suivant la température et la teneur en eau. La vitesse de germination est en même temps affectée. La cause des pertes par respiration plus élevées et de la détérioration des germes est le développement d'une microflore, en particulier de champignons de moisissure. La première formation visible de moisissure est déjà le signe que la putréfaction a commencé. Afin d'éviter les pertes de qualité, il faut exiger que la teneur en eau des grains de céréales récoltés humides soit éliminée jusqu'à ce que leur état de stockage ne dépasse plus les seuils de putréfaction. Il en résulte en même temps que les pertes de substance par respiration restent aussi basses que possible.

Bernhard Scholz: «Merma por respiración del trigo en dependencia de la temperatura, del tiempo de almacenaje y del contenido de agua.»

Se trató de averiguar, hasta qué punto pueden producirse mermas invisibles por la respiración de la sustancia seca del trigo. Se efectuaron mediciones con granos de trigo a temperaturas, tiempo de almacenaje y contenido de agua diferentes, con un aparato Warburg, calculándose la merma de la sustancia seca debida a la respiración. Hay que distinguir entre la merma por respiración del grano como organismo vivo (respiración del grano) y la merma producida por la respiración del moho que pudiese haber (respiración de los hongos). Las mermas debidas a la respiración del grano, dentro de los límites de la descomposición, establecidos para el secado por ventilación, pasan muy poco del 1%, refiriéndose este valor exclusivamente a la capa de arriba, recién secada. En las capas secadas con anterioridad, la merma por respiración es relativamente más reducida. No se ha investigado la influencia que ejerce la ventilación permanente sobre la merma por respiración.

Pasando del límite de descomposición, las mermas por respiración aumentan rápidamente, pudiendo llegar hasta el 6,5% de la sustancia seca primitiva en 15 días, según la temperatura y el contenido de agua. Al mismo tiempo sufre también la velocidad germinadora. La causa de la merma elevada por respiración y el daño que sufre la germinación por respiración consiste en el desarrollo de una microflora, especialmente de hongos de moho (respiración de los hongos). Los primeros indicios de la formación de moho ya deben considerarse como principio de la descomposición. De ahí que sea indispensable secar el trigo cosechado en estado húmedo, hasta que su grado de humedad haya llegado al límite admisible, que permite el almacenaje sin peligro de descomposición. De esta forma no sólo se evita la pérdida de calidad, sino que también la merma por respiración queda reducida al mínimo.