

## Kurzzeitlagerung von feuchtem Handelsgetreide unter Luftabschluß

*Agricultural Engineering Department, Michigan State University, East Lansing, Michigan/USA*

Das feuchte Seeklima Westeuropas bedingt, daß Mährdruschgetreide sehr häufig zum Erntezeitpunkt einen Wassergehalt aufweist, der für eine verlustlose Lagerung zu hoch ist. Im allgemeinen werden daher feuchte Körner kurzfristig nach der Ernte auf einen Wassergehalt von mindestens 14% heruntergetrocknet. Der Zeitdruck dieser Maßnahme führt oft zu Überlastung der gewerblichen Trocknungsanlagen. Aus diesem Grunde wird nach Verfahren gesucht, die eine verlustlose Konservierung feuchten Getreides für einen bestimmten Zeitraum zulassen. Für Futtergetreide eignet sich die Lagerung unter Luftabschluß, die einen spezifischen Silierungsprozeß darstellt und zeitlich nicht begrenzt ist. Feuchtes Handelsgetreide kann in vorhandene Lagerbehälter gefüllt, durch Kühlung frischgehalten und nach Ende der Hauptanlieferungszeiten getrocknet werden. Es erhebt sich hier die Frage, ob für dieses Getreide eine Zwischenlagerung unter Luftabschluß bei Temperaturen, wie sie sich unter praktischen Lagerungsbedingungen ergeben, möglich ist.

Untersuchungen haben gezeigt, daß der Sauerstoffvorrat in luftdicht verschlossenen Behältern mit Feuchtgetreide sehr schnell verbraucht wird und daher Schäden wie Schimmelbildung, Überhitzung und Freisetzen von Fettsäuren als Folge aeroben Stoffwechsels ausgeschlossen werden [1 . . . 4]. Parallel zur Abnahme des Sauerstoffgehaltes verläuft eine Zunahme des Kohlendioxidgehaltes. Nach Beendigung der aeroben Phase hält die anaerobe Stoffwechseltätigkeit im Getreidestock weiter an. Dieser anaerobe Stoffwechsel darf als der entscheidende Faktor bei der gasdichten Lagerung angesehen werden, da er die Qualitätsmerkmale des Getreides weitgehend verändern kann. Es wird berichtet, daß unter Luftabschluß gelagertes Feuchtgetreide bei einer Kornfeuchtigkeit von 16—17% nach 20 Wochen Lagerzeit Silagegeruch annimmt und seine Farbe verändert [3; 5]. Ferner wurde Alkoholbildung, eine Zunahme reduzierender Zucker und eine Abnahme nicht reduzierender Zucker, sowie eine Abnahme der Keimfähigkeit und der Kleberqualität beobachtet [1; 2; 3; 5]. Alle diese Symptome sind das Ergebnis eines Fermentierungsprozesses, dessen Ausmaß von Kornfeuchtigkeit, Lagertemperatur und Lagerzeit abhängt. Während der Erntesaison 1964 wurden im Landwirtschaftlichen Institut der Michigan State University in East Lansing, Michigan, USA, Versuche durchgeführt, die weitere Informationen insbesondere über das Anfangsstadium der gasdichten Lagerung erbrachten. Die Versuchsdauer wurde auf acht Wochen begrenzt. Diese Zeit wurde gewählt, weil eine erfolgreiche Zwischenlagerung des überschüssigen Feuchtgetreides, das vom Trockner nicht sofort verarbeitet werden kann, etwa den gleichen Zeitraum in Anspruch nehmen würde<sup>1)</sup>.

### 1. Versuchsanordnung

Für die Versuche wurde gereinigtes, erntefrisches Mährdruschgetreide der vier Hauptgetreidearten Weizen, Roggen, Gerste und Hafer benutzt. Neben der Getreideart wurden als weitere Versuchsfaktoren auch Kornfeuchtigkeit und Lagerzeit variiert. Der Feuchtigkeitsgehalt des Getreides wurde durch Wasserbeigaben auf etwa 17—18%, 22—23% und 28—29% (Feuchtbasis) gebracht. Das Getreide wurde nach dem Anfeuchten etwa einen Tag bei Raumtemperatur gelagert und während dieser Zeit mehrmals gründlich gemischt. Im Anschluß daran wurde es in Glasbehälter mit einem Fassungsvermögen von 3,7854 Liter (1 US gal) gefüllt, die gasdicht verschlossen wurden. Die Versuchsbehälter jeder Getreideart waren folgendermaßen auf die Kornfeuchtigkeitsgruppen verteilt:

Anzahl der Behälter	Kornfeuchtigkeit
24	17—18%
24	22—23%
24	28—29%

Sämtliche Behälter wurden nach dem Verschließen gleichzeitig in eine Klimakammer eingelagert. Die Temperatur im Lagerraum betrug während der gesamten Lagerzeit konstant 20 °C (68 °F).

Diese Temperatur kommt den praktischen Lagertemperaturen in größeren Lagerräumen sehr nahe, da Feuchtgetreide unter Luftabschluß nur unbedeutende Wärmemengen freisetzt [2]. Von jeder Kornfeuchtigkeitsgruppe jeder Getreideart wurden in wöchentlichen Abständen je drei Behälter auf folgende Kriterien untersucht:

1. Gasdruck
2. Gaskonzentration
3. Trockensubstanzverluste
4. Kornfeuchtigkeit
5. Keimfähigkeit
6. pH-Wert
7. Backfähigkeit (nur Weizen)

Nach Abschluß der ersten vier Untersuchungen wurde das Getreide in einem Satztrockner bei etwa 40 °C auf etwa 12% Wassergehalt heruntergetrocknet. Bei Weizen wurden außerdem repräsentative Proben genommen und später zu Backfähigkeitsanalysen an ein Speziallaboratorium verschickt.

### 2. Versuchsmethoden

#### 2.1. Messung des Gasdruckes

Zur Messung des Gasdruckes wurde ein Niederdruckmanometer verwandt. Der Druckausgleich zum Meßgerät erfolgte durch eine Injektionsnadel mit anschließendem Gummischlauch. Die Nadel wurde durch eine etwa 1 mm weite kreisrunde Öffnung im Behälterdeckel in das Getreide eingeführt (Bild 1). Während der Messung traten nur unbedeutende Gasverluste auf, da die konische Ausbildung des oberen Nadelendes auch bei etwas unterschiedlichen Lochweiten eine sichere Randabdichtung erlaubte.

#### 2.2. Messung der Gaskonzentration

Die Gaskonzentration wurde mit einem "Clinical Gas Partitioner" gemessen<sup>2)</sup> (Bild 2). Durch die bereits für Druckmessungen benutzte Öffnung im Deckel wurden mit einer Injektionsspritze Gasproben von 1 ccm aus dem Behälter entnommen und in das

<sup>1)</sup> Der vorliegende Bericht entstand auf Anregung von Prof. DENCKER als Fortsetzung der vom Ministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Düsseldorf, induzierten Untersuchungen über Getreidetrocknung am Institut für Landtechnik, Bonn. Auf Veranlassung von Prof. DENCKER wechselte Dr. MEIERING im Rahmen des Nato-Austauschprogramms vom Institut für Landtechnik, Bonn, zum Agricultural Engineering Department der Michigan State University. Prof. Dr. BAKKER-ARKEMA ist Leiter der dortigen Processing Section

<sup>2)</sup> Ein "Clinical Gas Partitioner" der Fa. Fischer Scientific Supply Inc., Chicago

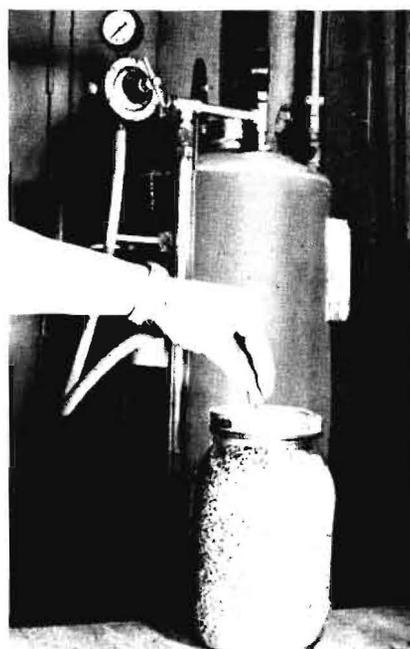


Bild 1: Messung des Gasdruckes mit Niederdruckmanometer

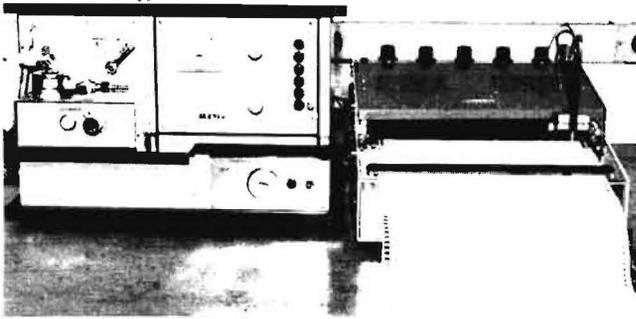


Bild 2: Clinical Gas Partitioner mit angeschlossenen Registriergerät

Meßgerät eingeführt. Innerhalb des Gerätes wird das Gasgemisch der Proben sofort von einem konstant fließenden Trägergas (Helium) zunächst über oberflächenaktive Substanzen geführt, die jeweils ein bestimmtes Gas, nämlich Sauerstoff, Kohlendioxyd oder Stickstoff absorbieren. Nach verschiedenen Zeitabständen werden die absorbierten Gase wieder freigegeben und können dann ihren Weg mit dem Trägergas durch das Leitungssystem des Gerätes fortsetzen. Die Absorptionsmittel sind so ausgesucht, daß die genannten Gase in einer bestimmten Reihenfolge frei werden und somit nur Einzelkomponenten der Gasprobe für die jetzt folgende quantitative Analyse zur Verfügung stehen. Die quantitative Auswertung erfolgt in Thermistoren, die auf veränderte thermische Eigenschaften des Gemisches von Trägergas und Einzelkomponente mit entsprechend veränderter elektrischer Spannung reagieren. Die Spannungsunterschiede werden von einem eingeschlossenen Registriergerät mittels Transistoren verstärkt und über der Zeit aufgezeichnet (Bild 2). Die Analyse einer einzelnen Gasprobe dauert rund zwei Minuten.

### 2.3. Feststellung der Trockensubstanzverluste

Beim Einfüllen des Feuchtgetreides in die Lagerbehälter wurde ein Teil der Körner (etwa 60 g) in Beutel aus Kunststoffgewebe mit etwa 1,5 mm weiten quadratischen Maschen gefüllt (Bild 3). Diese Beutel wurden so in die Behälter eingelegt, daß sie von allen Seiten mit Getreide umgeben waren. Für den Inhalt der Beutel konnten aufgrund der gasdurchlässigen Netzwände die gleichen Lagerbedingungen angenommen werden wie für den gesamten Behälterinhalt. Zu Beginn und Ende der Lagerzeit wurden die Beutel gewogen. Gleichzeitig mit den Wiegungen erfolgten Kornfeuchtigkeitsbestimmungen, so daß sich aus den Unterschieden zwischen Einlagerungs- und Entnahmegewicht der Beutelinhalte die Trockensubstanzverluste errechnen ließen. Die Wasseraufnahme des Kunststoffgewebes blieb ohne nennenswerten Einfluß auf die festgestellten Gewichtsunterschiede.

### 2.4. Bestimmung der Kornfeuchtigkeit

Die Kornfeuchtigkeitsbestimmungen erfolgten nach der Trockenschrankmethode. Etwa 15–20 g Getreide wurden gemahlen und bei 105 °C (221 °F) 16 Stunden lang in einem Trockenschrank getrocknet. Aus den Gewichtsunterschieden zu Beginn und Ende der Trocknung konnte der Feuchtigkeitsgehalt berechnet werden.

### 2.5. Bestimmung der Keimfähigkeit

Für Keimfähigkeitsproben wurden von jedem Behälter 100 Körner in ein Keimbett aus angefeuchtetem sterilem Quarzsand eingelegt. Nach einer Wartezeit von vier Tagen, in der die Proben einer Temperatur von etwa 20 °C (68 °F) ausgesetzt waren, wurden die aufgefangenen Keime gezählt. Die Keimfähigkeit stellt den Prozentsatz der aufgegangenen Keime dar.

### 2.6. Messung des pH-Wertes

Zur Ermittlung des pH-Wertes wurden 10 g trockenen Getreides (etwa 12% Wassergehalt) fein gemahlen und in 100 ccm destillierten und entbasten Wassers gegeben. Die Mischung wurde 20 Mi-



Bild 3: Versuchsbehälter und Kunststoffbeutel zur Bestimmung der Trockensubstanzverluste

nuten lang mechanisch geschüttelt. Im Anschluß daran wurde der pH-Wert der Lösung elektronisch mit einem „Zeromatic pH-Meter“<sup>3)</sup> gemessen. Die Getreidelösung wurde nach den Richtlinien der Titrationsmethode hergestellt.

### 2.7. Untersuchung der Mahlbarkeit und Backfähigkeit

Die Bestimmung der Mahlbarkeit und Backfähigkeit erfolgte im Spezial-Laboratorium der Doty Laboratories, Inc., North Kansas City. Das Getreide wurde auf Eiweißgehalt, Mahlbarkeit, Mehlausbeute, Aschengehalt und Mehlfarbe untersucht. Ferner wurden in einem Backtest Anrührzeit, Brotvolumen, Brotgefüge, Krustenbeschaffenheit und Broffarbe bewertet. Außerdem wurde die Zeit, die zur Entwicklung einer optimalen Teigbeschaffenheit notwendig war, gemessen.

## 3. Versuchsergebnisse

Im jetzt folgenden Abschnitt werden die gewonnenen Versuchsergebnisse dargestellt und näher erläutert. Bild 4 zeigt den Einfluß der Kornfeuchtigkeit auf die Entwicklung des Gasdruckes in den Behältern. In dieser Darstellung sind nur die während der achtwöchigen Lagerzeit gemessenen Maximaldrücke berücksichtigt. Die Druckentwicklung erreicht im allgemeinen zugleich mit der CO<sub>2</sub>-Konzentration ihre Höchstwerte. Eine Extrapolation der Druckkurve deutet darauf hin, daß bei Kornfeuchtigkeiten von weniger als etwa 13% nach achtwöchiger Lagerung kein Überdruck zu erwarten ist. Von 13–29% Kornfeuchtigkeit nimmt der Druck in den Behältern bei allen Getreidearten etwa gleichmäßig und proportional der Kornfeuchtigkeit zu. Alle gemessenen Druckwerte fallen in den Bereich eines linear ansteigenden Kurvenbandes. Der maximale gemessene Druck beträgt 1,69 atü und ergab sich bei Roggen mit einem Wassergehalt von 28,3%.

<sup>3)</sup> Ein „Zeromatic pH-Meter“ der Fa. Beckmann Inc., Chicago

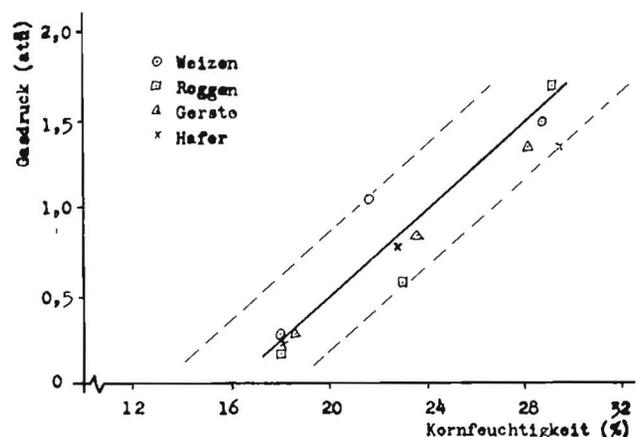


Bild 4: Einfluß der Kornfeuchtigkeit auf die Druckentwicklung (Maximalwerte) in mit Feuchtgetreide gefüllten und luftdicht verschlossenen Behältern (Fassungsvermögen: 3,785 Liter = 1 U.S. gallon). Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)

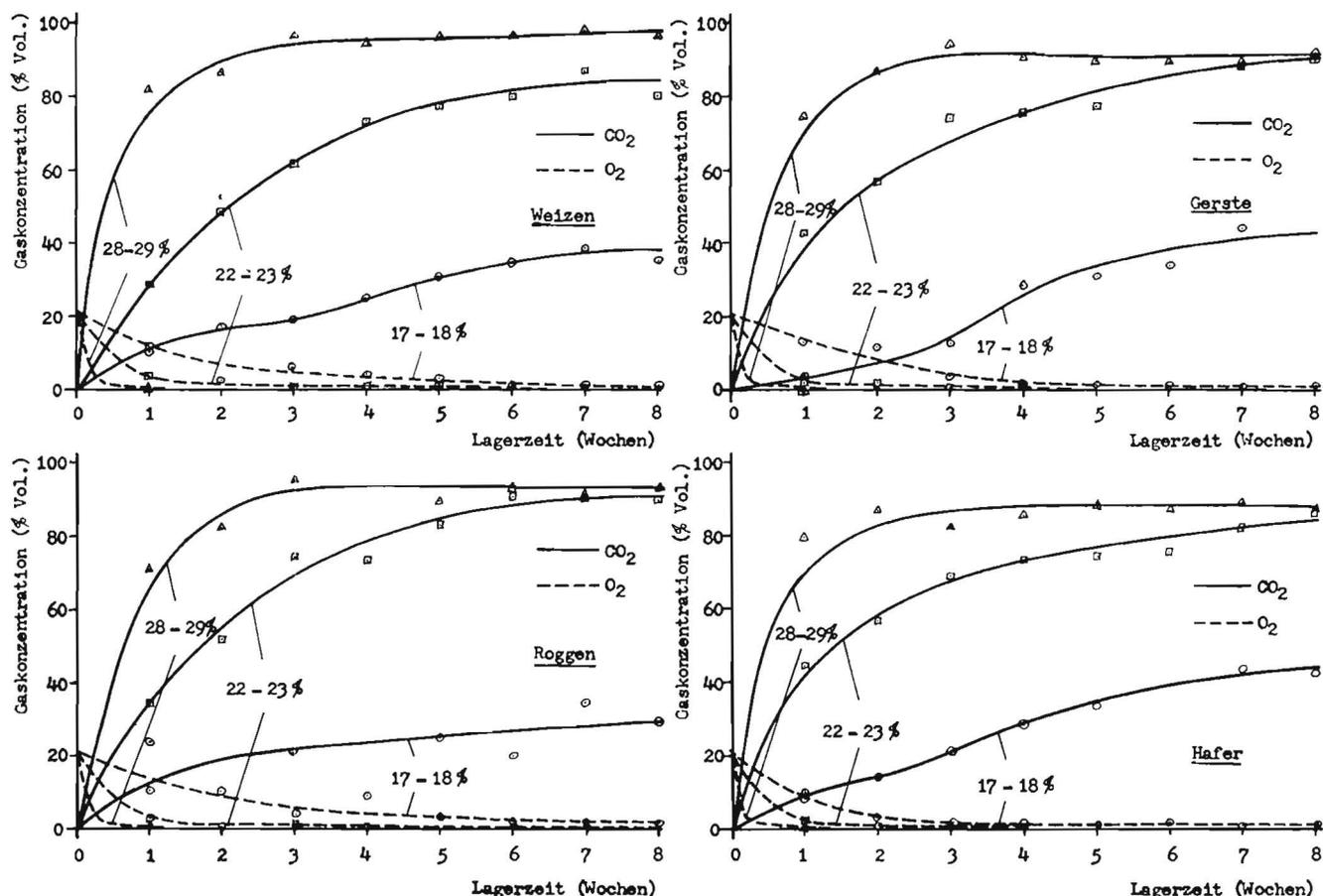


Bild 5: Einfluß der Lagerzeit auf die Kohlendioxidproduktion und den Sauerstoffverbrauch von Weizen, Roggen, Gerste und Hafer verschiedener Kornfeuchtigkeit bei Lagerung in gasdicht verschlossenen Behältern  
Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)

Die Abhängigkeit der Kohlendioxidproduktion und des Sauerstoffverbrauches von der Lagerzeit ist für Weizen, Roggen, Gerste und Hafer in Bild 5 dargestellt. Wie zu ersehen ist, ergibt sich für alle Getreidearten grundsätzlich das gleiche Bild. Bei 28–29% Kornfeuchtigkeit ist nach drei Wochen die höchste CO<sub>2</sub>-Konzentration erreicht, wodurch angezeigt ist, daß von diesem Zeitpunkt an praktisch kein Stoffwechsel im Behälter mehr stattfindet. Die Sauerstoffkonzentration erreicht bei gleicher Kornfeuchtigkeit ihr Minimum schon in der ersten Woche. Die Kohlendioxidkurve des Getreides mit 22–23% Wassergehalt steigt nicht so steil an wie die Kurve des feuchteren Getreides. Roggen, Gerste und Hafer entwickeln in der siebten und achten Woche etwa die gleiche CO<sub>2</sub>-Konzentration wie das Getreide der höheren Kornfeuchtigkeitsgruppe. Bei Weizen ist die Konzentration nach dem gleichen Zeitraum aus nicht geklärten Gründen niedriger. Der Sauerstoff ist im Getreide mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 22–23% nach etwa zwei Wochen größtenteils verbraucht. In der niedrigsten Kornfeuchtigkeitsgruppe (17–18%) erreicht die Kohlendioxidkonzentration nach acht Wochen Werte von 29–45% (Tafel 1).

Weizen, Gerste und Hafer zeigen in der vierten Woche eine stärkere Zunahme der Konzentration als in der restlichen Lagerzeit. Von der fünften bis achten Woche weisen die Kurven etwa die gleichen Zuwachsraten auf wie in den ersten drei Wochen. Die

Tafel 1: Kohlendioxidkonzentration in Weizen, Roggen, Gerste und Hafer verschiedener Kornfeuchtigkeit nach acht Wochen luftdichter Lagerung

Wassergehalt [%]	Kohlendioxidkonzentration nach acht Wochen gasdichter Lagerung in			
	Weizen	Roggen	Gerste	Hafer
17–18	34,5	29,0	44,0	42,1
22–23	80,0	88,8	90,8	86,3
28–29	95,9	92,1	91,1	86,1

Sauerstoffkonzentration sinkt in der niedrigsten Kornfeuchtigkeitsgruppe bei allen Getreidearten während der ersten drei Wochen schneller als in den restlichen fünf Wochen. Weizen, Roggen und Gerste haben bis zu diesem Zeitpunkt den Sauerstoff in der Lageratmosphäre bis auf einen Gehalt von etwa 4% des Gesamtvolumens verbraucht. Die Sauerstoffkonzentration in den Haferbehältern ist im gleichen Zeitraum auf 1,62% abgesunken. Von der vierten Woche an nimmt sie allgemein nur sehr langsam ab. Am Ende der achten Woche erreicht die Lageratmosphäre bei allen Getreidearten mit 17–18% Wassergehalt eine Sauerstoffkonzentration von 1–2%.

Während der gesamten Stoffwechseltätigkeit wird Getreidesubstanz veratmet und geht somit für Ernährungs- und Futterzwecke verloren. Diese Trockensubstanzverluste sind für die vier Hauptgetreidearten in Bild 6 dargestellt. Die ermittelten Werte unterliegen zum Teil zwar stärkeren Schwankungen, trotzdem lassen sich einige Tendenzen mit ausreichender Sicherheit erkennen. Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied in den Verlusten zwischen den Nachtgetreidearten Weizen und Roggen auf der einen und den Bedecktetreidearten Gerste und Hafer auf der anderen Seite. Bei einer Kornfeuchtigkeit von 28–29% betragen die Trockensubstanzverluste nach acht Wochen für erstere 1,1 bis 1,2% (bezogen auf den anfänglichen Trockensubstanzgehalt), während sie bei letzteren auf 1,8–2,0% ansteigen. Allen Getreidearten gemeinsam ist der steilere Anstieg in den ersten Wochen sowie ein allmähliches Abflachen der Kurve und die Annäherung an einen Maximalwert im restlichen Teil der Lagerzeit. Das gleiche Prinzip gilt für die Kornfeuchtigkeitsgruppe von 22–23%. Weizen und Roggen erleiden nach acht Wochen eine Einbuße von 0,3–0,4% ihrer Trockenmasse. Gerste und Hafer verlieren etwa 0,7–0,8%. Bei einer Kornfeuchtigkeit von 17–18% entstehen bei allen Getreidearten bis zum Ende der achtwöchigen Lagerperiode insgesamt geringe, mit fortschreitender Lagerzeit gleichmäßig zunehmende Verluste. Auch hier zeigt sich bei Gerste und Hafer, wenn auch in weit geringerem Maße die Tendenz zu höheren Einbußen. Alle Verluste liegen jedoch in der sehr kleinen Spanne von 0,1–0,2%.

**Tafel 2: Kornfeuchtigkeit von Weizen, Roggen, Gerste und Hafer verschiedenen Wassergehaltes zu Beginn der achtwöchigen Lagerung unter Luftabschluß**

Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)

Kornfeuchtigkeitsgruppe	Wassergehalt [%] von unter Luftabschluß gelagertem							
	Weizen		Roggen		Gerste		Hafer	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende
17—18%	18,3	17,7	17,9	18,2	18,6	18,7	17,9	18,1
22—23%	21,8	21,6	23,1	22,6	23,3	24,0	22,8	22,7
28—29%	29,1	28,5	28,5	29,8	28,0	28,4	29,4	29,7

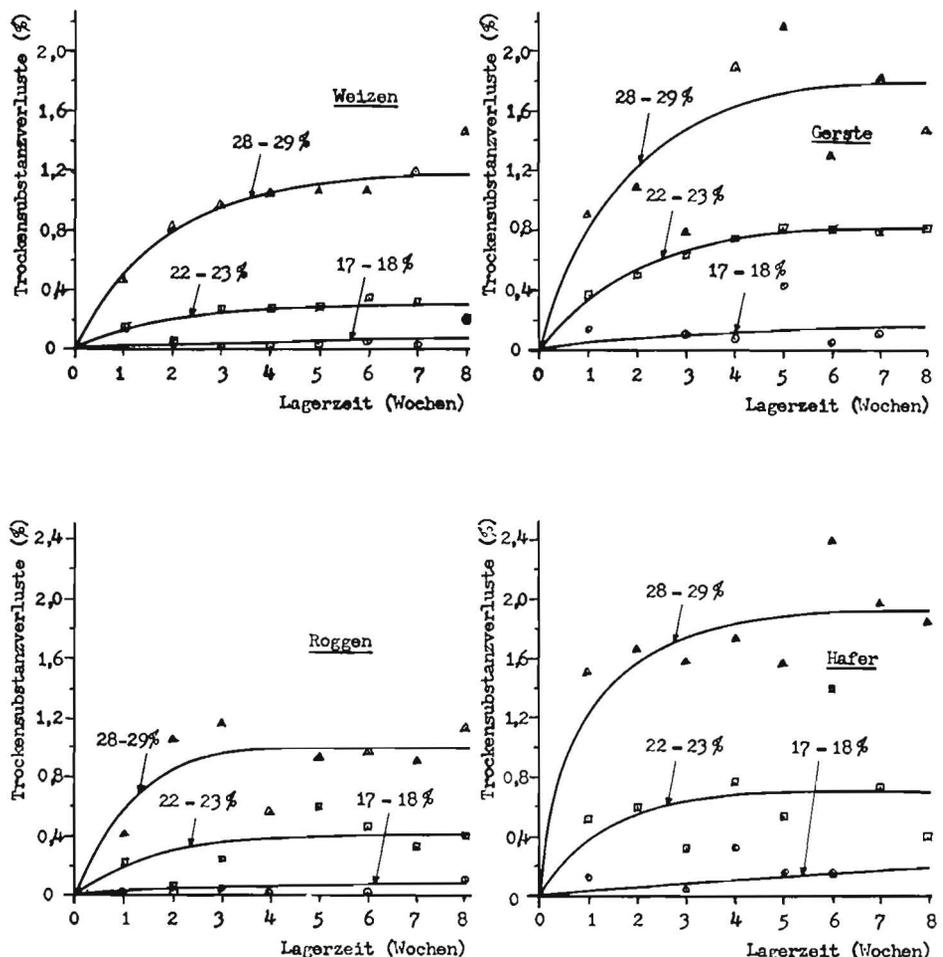
Während der aeroben Atmung bildet sich neben dem CO<sub>2</sub> als weiteres Stoffwechselprodukt Wasser. Da die aerobe Phase aber nur äußerst kurz ist, sind die aus der veratmeten Trockensubstanz freigesetzten Wassermengen im Vergleich zu dem in den Körnern bereits vorhandenen Wasser so gering, daß mit der angewandten Meßmethode keine signifikante Erhöhung der Kornfeuchtigkeitswerte während der achtwöchigen Lagerzeit festgestellt werden konnte (Tafel 2).

Für die Praxis kann daher mit unverändertem Wassergehalt des Getreides gerechnet werden.

Im Vergleich zur Kornfeuchtigkeit ist die Keimfähigkeit der gasdicht gelagerten Körner unvergleichlich stärkeren Schwankungen unterworfen, die bei allen Getreidearten etwa die gleiche Tendenz aufweisen (Bild 7). Bei einem Wassergehalt von 28—29% sind nach einer Woche immerhin noch 91—94% der Körner keimfähig. Am Ende der zweiten Woche ist die Keimfähigkeit bei Gerste auf 19%, bei Weizen auf 14% und bei Roggen und Hafer sogar auf 2% abgesunken. Nach drei Wochen Lagerzeit haben alle Körner in der höchsten Kornfeuchtigkeitsgruppe ihre Keimfähigkeit verloren. Getreide mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 22 bis 23% weist bis zum Ende der zweiten Woche gasdichter Lagerung keine Verluste auf. Nach drei Wochen zeigen sich die ersten Einbußen, die in der vierten und fünften Woche stark ansteigen und in der sechsten Woche zum Erlöschen der Keimfähigkeit führen. Bleibt die Kornfeuchtigkeit auf 17—18% beschränkt, erleiden Gerste und Hafer keine Verluste, während die Keimfähigkeit von Weizen und Roggen nach acht Wochen um etwa 8% beziehungsweise 5% abnimmt.

Die gasdichte Lagerung feuchten Getreides kann als spezifischer Silierungsprozeß angesehen werden, in dessen anaerober Phase sich Stoffwechselprodukte bilden, die den pH-Wert des eingelagerten Materials stark verändern können. Aus diesem Grunde wurden nach der Öffnung der Behälter und anschließender Trocknung ihres Inhaltes Proben entnommen und mit einem elektronischen pH-Meter auf Wasserstoffionenkonzentration untersucht. Dabei stand weniger die absolute Höhe der pH-Werte der

**Bild 6: Einfluß der Lagerzeit auf die Trockensubstanzverluste (in Prozent der bei Lagerungsbeginn vorhandenen Trockensubstanz) von Weizen, Roggen, Gerste und Hafer verschiedener Kornfeuchtigkeit bei Lagerung in luftdicht verschlossenen Behältern**  
Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)



untersuchten Lösungen als vielmehr die Veränderung der Wasserstoffionenkonzentration während der Lagerzeit im Vordergrund des Interesses, um Rückschlüsse auf eventuelle Säurebildung im Getreide ziehen zu können. Tafel 3 enthält die unmittelbar vor der Einlagerung und die nach einer Woche, vier und acht Wochen gemessenen Werte. Wie aus der Aufstellung hervorgeht, bleibt die gasdichte Lagerung bei allen Getreidearten ohne nennenswerten Einfluß auf die Wasserstoffionenkonzentration im getrockneten Korn, wenn die Kornfeuchtigkeit 23% nicht überschreitet. Sämtliche Lösungen reagieren leicht sauer. Weizen, Roggen und Gerste weisen auch bei einem Wassergehalt von 28—29% nur äußerst geringfügige Veränderungen auf, obwohl die Körner bereits nach drei Wochen einen deutlichen Silagegeruch angenommen hatten. Bei Hafer gleicher Kornfeuchte sinkt dagegen der pH-Wert von 6,0 auf 5,0 ab. Bezeichnenderweise entwickelte Hafer mit einer Kornfeuchtigkeit von 28—29% auch den stärksten Silagegeruch.

Der letzte Schritt in der Versuchsreihe war die Untersuchung des Weizens auf seine Mahlbarkeit und Backfähigkeit. Sie blieb auf die Körner mit 17—18% und 22—23% Kornfeuchtigkeit beschränkt, da der Silagegeruch des Weizens mit 28—29% Wassergehalt die Verwendung dieses Getreides für die menschliche

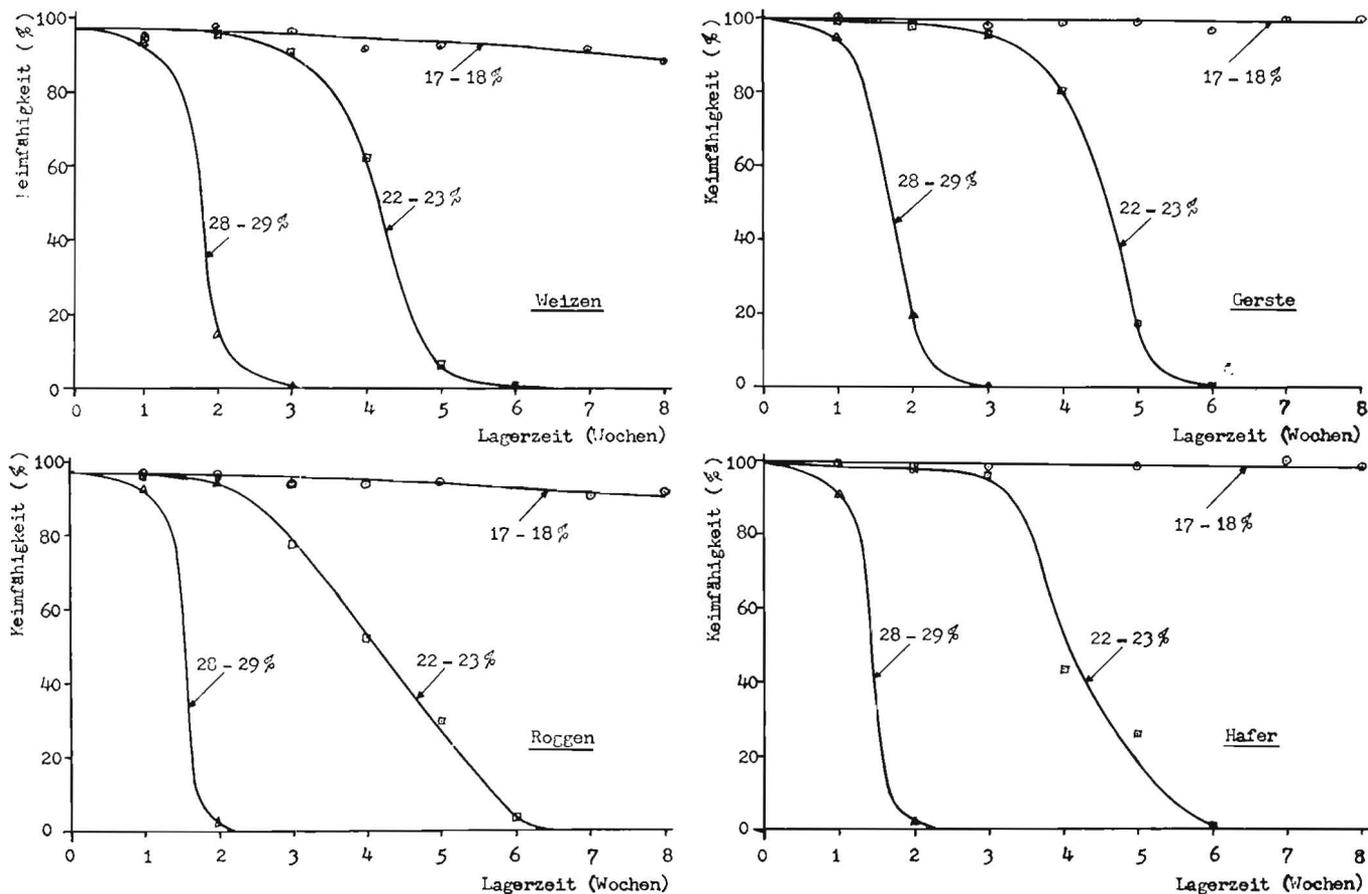


Bild 7: Einfluß der Lagerzeit auf die Keimfähigkeit von Weizen, Roggen, Gerste und Hafer verschiedener Kornfeuchtigkeit bei Lagerung in luftdicht verschlossenen Behältern  
Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)

Ernährung nicht ratsam erscheinen ließ. Die wichtigsten Ergebnisse sind in den Tafeln 4 und 5 zusammengefaßt. Zunächst wäre festzustellen, daß der Proteingehalt der untersuchten Getreidekörner etwas mehr als 10% beträgt und sich während der gesamten Lagerzeit in beiden Kornfeuchtigkeitsgruppen nicht ändert. Die Mehlausbeute steigt bei einer Kornfeuchtigkeit von 17—18% von 70,1% in der ersten auf 71,2% in der achten Woche an. Besitzen die Körner einen Wassergehalt von 22—23%, steigt sie sogar um 3,0% von 70,0 auf 73,0%. Die Mahlbarkeit des Getreides bleibt während der gesamten Lagerzeit in beiden Gruppen unverändert „Sehr gut“.

Der Aschengehalt des Mehles nimmt in beiden Versuchsgruppen mit fortschreitender Lagerzeit zu. Er steigt von 0,360% vor der Einlagerung (siehe Tafel 4, Kontrollprobe) in der Feuchtigkeitsgruppe mit 17—18% H<sub>2</sub>O nach acht Wochen Lagerzeit auf 0,417% und in der Gruppe mit 22—23% H<sub>2</sub>O auf 0,540% im gleichen Zeitraum. Der Proteingehalt des Mehles schwankt zwischen 8,6 und 9,0%. Er korrespondiert mit den entsprechenden Werten für ungemahlene Körner und läßt wie diese keine Abweichungstendenzen während der Lagerzeit erkennen. Die Zeit, die zur Herstellung eines einwandfreien Teiges erforderlich war, wurde beim Weizen mit einem Wassergehalt von 17—18% als „kurz“ be-

zeichnet. Die Anrührzeit des Mehles, das aus den Körnern der höheren Kornfeuchtigkeitsgruppe gewonnen wurde, verlängerte sich nach der dritten Woche von „kurz“ auf „normal“.

Nach dem Backen wurde das Brot auf Brotvolumen, Brotgefüge, Krustenbeschaffenheit und Farbe untersucht. Das Brotvolumen des Weizens, der mit einem Wassergehalt von 17—18% gelagert wurde, bewegt sich zwischen 635 und 685 ccm. Obwohl die Werte Schwankungen unterliegen, läßt sich keine durch die Lagerzeit bedingte Veränderungstendenz nachweisen. Beim Weizen mit 22—23% Einlagerungskornfeuchte zeichnet sich dagegen ein Zeiteinfluß ab, insofern als das Brotvolumen in der vierten und fünften Woche Höchstwerte von 680 und 675 ccm erreicht und in der achten Woche deutlich auf 610 ccm abfällt. Die Allgemeinbeurteilung des Brotvolumens korrespondiert mit der des Brotgefüges. In der niedrigeren Kornfeuchtigkeitsgruppe wird letzteres in ziemlich gleichmäßiger Verteilung als „geschlossen, gleichmäßig und seidig“ bezeichnet, während ersteres als „sehr gut“ oder „ausgezeichnet“ beurteilt wird. Das Brotgefüge des mit 22—23% Kornfeuchte gelagerten Weizens wird bis zur dritten Woche ebenfalls als „geschlossen, gleichmäßig und seidig“ beschrieben und parallel dazu das Brotvolumen als „sehr gut“. In der vierten und fünften Woche steigern sich die Noten auf „sehr seidig“

Tafel 3: Einfluß der Lagerzeit auf die Wasserstoffionenkonzentration

in Lösungen, hergestellt nach den Richtlinien der Titrationsmethode mit Weizen, Roggen, Gerste und Hafer (gemahlen) verschiedener Kornfeuchtigkeit nach Lagerung in luftdicht verschlossenen Behältern und anschließender Trocknung auf etwa 12% Wassergehalt  
Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)

Kornfeuchtigkeit [%]	Wasserstoffionenkonzentration [pH] bei															
	Weizen				Roggen				Gerste				Hafer			
	nach einer Lagerzeit [Wochen] von															
	0	1	4	8	0	1	4	8	0	1	4	8	0	1	4	8
17—18	6,4	6,5	6,7	6,7	6,5	6,5	6,6	6,5	5,8	5,8	6,0	6,0	6,0	6,2	6,4	6,4
22—23	6,4	6,4	6,9	6,6	6,4	6,4	6,4	6,3	5,7	5,8	6,1	6,2	6,0	6,1	6,2	6,2
28—29	6,3	6,5	6,7	6,2	6,3	6,3	6,3	6,2	5,8	5,9	6,2	6,1	6,0	6,1	5,6	5,0

**Tafel 4: Einfluß der Lagerzeit auf Mahlbarkeit und Backfähigkeit von Weizen mit einem Wassergehalt von 17—18% nach Lagerung in luftdicht verschlossenen Behältern**

Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)

Lagerzeit	Protein- gehalt der Körner	Mehl- ausbeute	Mahl- barkeit	Aschen- gehalt	Protein- gehalt des Mehles	Anrühr- zeit	Brot- volumen	Brot- gefüge	Krusten- beschaf- fenheit	Farbe	Gesamt- urteil
[Wochen]	[%]	[%]		[%]	[%]		[ccm]			Brot/Mehl	
1	10,30	70,1	sehr gut	0,363	9,0	kurz	675/I <sup>1)</sup>	a, b, d <sup>2)</sup>	glatt	99c/98cg <sup>3)</sup>	aus- gezeichnet
2	10,20	70,2	sehr gut	0,373	8,7	kurz	650/II	a, b, c	glatt	99c/98cg	sehr gut- aus- gezeichnet
3	10,50	70,2	sehr gut	0,373	8,7	kurz	685/I	a, b, c	glatt	99c/98cg	sehr gut
4	10,25	70,2	sehr gut	0,373	8,9	kurz	635/II	a, b, c	glatt	99c/98cg	sehr gut
5	10,35	70,6	sehr gut	0,387	8,8	kurz	660/II	a, b, c	glatt	99c/98cg	sehr gut
6	10,40	70,6	sehr gut	0,383	9,0	kurz	685/I	a, b, d	glatt	99c/98cg	aus- gezeichnet
7	10,20	70,8	sehr gut	0,400	8,8	kurz	645/II	a, b, c	glatt	98c/98c	sehr gut
8	10,40	71,2	sehr gut	0,417	8,8	kurz	650/II	a, b, c	glatt	98c/98c	sehr gut
Kontroll- probe <sup>4)</sup>	10,50	70,0	sehr gut	0,360	8,9	kurz	630/II	a, b, c	glatt	99c/98cg	sehr gut

<sup>1)</sup> I = ausgezeichnet, II = sehr gut

<sup>2)</sup> a = geschlossen, b = gleichmäßig, c = seidig, d = sehr seidig

<sup>3)</sup> c = cremefarben, g = gelb

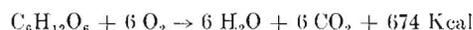
<sup>4)</sup> Probe genommen vor dem Anfeuchten des Getreides

beziehungsweise „ausgezeichnet“. Von der sechsten bis achten Woche verschlechtert sich das Brotgefüge wieder und wird schließlich als „geschlossen, gleichmäßig und harsch“ bewertet. Gleichzeitig verwandelt sich das Urteil über das Brotvolumen zurück in ein „sehr gut“. Das Brot, das aus dem Mehl des weniger feucht gelagerten Weizens (17—18% H<sub>2</sub>O) gebacken wurde, bildete in allen Fällen eine glatte Kruste. Der mit 22—23% Wassergehalt gelagerte Weizen vermag nur bis zur fünften Woche eine glatte Brotkruste auszubilden, um danach bis zur achten Woche ein Brot mit rauher Kruste zu produzieren. Die Mehl- und Brotfarbe verschlechtert sich während der Lagerzeit etwas in beiden Feuchtigkeitsgruppen. Die Farbeinbußen steigern sich gleichmäßig mit zunehmender Lagerzeit, sind insgesamt aber unbedeutend. Das abschließende Gesamturteil des Backtestes faßt alle Einzelbewertungen nochmals zusammen. Wider Erwarten ergibt sich in der höheren Kornfeuchtigkeitsgruppe ein insgesamt besseres Resultat als in der niedrigeren. Dabei wirkt sich eine längere Lagerzeit günstig aus, denn das Gesamturteil verbessert sich von einem „sehr gut“ in den ersten drei Wochen auf ein „ausgezeichnet“ in den nächsten vier Wochen. Erst in der achten Woche sinkt es wieder auf den alten Stand ab. Der Weizen mit 17—18% Wassergehalt zeigt keine auffallenden Veränderungen während der

Lagerzeit. Seine Backfähigkeit erhält meistens die Note „sehr gut“ und wird nur in der ersten und sechsten Woche mit „ausgezeichnet“ bewertet.

#### 4. Das Ausmaß der aeroben und anaeroben Atmung

Anhand der gemessenen Konzentrationswerte der Lageratmosphäre und des Gasdruckes soll versucht werden, mehr Klarheit über das Ausmaß der anaeroben Atmung zu gewinnen. Zu diesem Zweck wird zunächst die durch die aerobe Atmung gebildete Kohlendioxidmenge rechnerisch bestimmt. Im Anschluß daran kann aus der Differenz dieses Betrages und der insgesamt im Behälter vorgefundenen Kohlendioxidmenge der durch anaerobe Atmung gebildete CO<sub>2</sub>-Betrag ermittelt werden. Die beschriebene Rechnung beschränkt sich auf Weizen, da für die anderen Getreidearten ähnliche Resultate erwartet werden können. Die aerobe Atmung verläuft nach folgender Gleichung:



Die zu Beginn der Lagerzeit in den Behältern vorhandene Sauerstoffmenge ist bekannt. Sie beträgt etwa 21% des freien Volumens (Luft), das mit 40% [6] des Behältervolumens angenommen wird.

**Tafel 5: Einfluß der Lagerzeit auf Mahlbarkeit und Backfähigkeit von Weizen mit einem Wassergehalt von 22—23% nach Lagerung in luftdicht verschlossenen Behältern**

Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)

Lagerzeit	Protein- gehalt der Körner	Mehl- ausbeute	Mahl- barkeit	Aschen- gehalt	Protein- gehalt des Mehles	Anrühr- zeit	Brot- volumen	Brot- gefüge	Krusten- beschaf- fenheit	Farbe	Gesamt- urteil
[Wochen]	[%]	[%]		[%]	[%]		[ccm]			Brot/Mehl	
1	10,15	70,0	sehr gut	0,357	8,6	kurz	645/II <sup>1)</sup>	a, b, c <sup>1)</sup>	glatt	99c/98cg <sup>1)</sup>	sehr gut
2	10,40	71,4	sehr gut	0,427	8,7	kurz	625/II	a, b, c	glatt	99c/98c	sehr gut
3	10,55	71,6	sehr gut	0,440	8,85	kurz	645/II	a, b, c	glatt	97c/97cg	sehr gut
4	10,35	72,0	sehr gut	0,463	8,7	normal	680/I	a, b, d	glatt	97c/96sc <sup>2)</sup>	aus- gezeichnet
5	10,20	72,6	sehr gut	0,497	8,8	normal	675/I	a, b, d	glatt	96c/96sc	aus- gezeichnet
6	10,40	72,4	sehr gut	0,507	8,9	normal	655/I	a, b, c	etwas rauh	96c/97cg	aus- gezeichnet
7	10,70	72,4	sehr gut	0,510	9,2	normal	645/I	a, b, et- etwas harsch	etwas rauh	96c/97cg	aus- gezeichnet
8	10,36	73,0	sehr gut	0,540	8,9	normal	610/II	a, b, harsch	etwas rauh	96c/97cg	sehr gut

<sup>1)</sup> siehe Anmerkungen Tafel 4; <sup>2)</sup> sc = sehr cremefarben

Bei einem Gesamtvolumen der Behälter von 3,7854 Litern (1 US gal) ergibt sich eine Sauerstoffmenge von 0,423 g, was etwa 0,0132 Mol entspricht. Folglich kann auf aerobem Wege nach obiger Gleichung auch nur 0,0132 Mol CO<sub>2</sub> gebildet werden. Die aerobe Atmung kann demnach also nicht mehr als 0,581 g CO<sub>2</sub> erzeugen. In der Versuchsgruppe mit 17–18% Kornfeuchtigkeit ist der zu Beginn der Lagerzeit in den Behältern vorhandene Sauerstoff nach acht Wochen noch nicht restlos verbraucht, so daß sich niedrigere Werte für das aerob gebildete CO<sub>2</sub> ergeben. Das Gewicht des in den einzelnen Behältern erzeugten Gesamtkohlendioxids wird nach den gemessenen Druck- beziehungsweise Konzentrationswerten für eine Temperatur von 20 °C (68 °F) berechnet. Dabei wird der vom Gas eingenommene Raum mit 40% des Gesamtvolumens der Behälter in die Kalkulation eingesetzt. Für die Behälteratmosphäre gilt die Annahme, daß sie sich aus Stickstoff, Sauerstoff und Kohlendioxid zusammensetzt. Unter der weiteren Annahme, daß sich diese drei Komponenten wie ideale Gase verhalten, gelten folgende Beziehungen:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = \sum_{i=1}^3 P_i;$$

$$P_i = \frac{n_i \cdot R_0 \cdot T}{V},$$

so daß

$$P = (n_1 + n_2 + n_3) \frac{R_0 \cdot T}{V} = \left( \sum_{i=1}^3 n_i \right) \cdot \frac{R_0 \cdot T}{V}$$

und

$$\frac{P_i}{P} = \frac{n_i \cdot R_0 \cdot T / V}{\left( \sum_{i=1}^3 n_i \right) \cdot R_0 \cdot T / V} = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^3 n_i}. \quad (1)$$

Es bedeuten:

$P$  = gemessener Druck in Versuchsbehältern [kp/m<sup>2</sup>],

$P_1, P_2, P_3$  = Teildrücke der Einzelkomponenten O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> [kp/m<sup>2</sup>],

$R_0$  = allgemeine Gaskonstante (847,83 kp m/kmol grad),

$T$  = Lagertemperatur (konstant 20 °C),

$V$  = Volumen der Versuchsbehälter [m<sup>3</sup>],

$n = \frac{W}{M}$ , wo  $W$  = Gewicht des Gases in kp und  $M$  = Molekulargewicht in kp/mol.

Ebenfalls gilt

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = \left( \sum_{i=1}^3 n_i \right) \frac{R_0 \cdot T}{P}$$

und

$$V_i = \frac{n_i R T}{P},$$

sowie

$$\sum_{i=1}^3 n_i = \frac{\left( \sum_{i=1}^3 V_i \right) P}{R_0 T},$$

so daß

$$\frac{n_i}{\sum_{i=1}^3 n_i} = \frac{P V_i / R_0 T}{\left( \sum_{i=1}^3 V_i \right) P / R_0 T} = \frac{V_i}{V}, \quad (2)$$

wo  $V_1, V_2, V_3$  = Teilvolumen der Einzelkomponenten O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> bei Meßdruck  $P$ .

Aus den Gl. (1) und (2) ergibt sich

$$\frac{P_i}{P} = \frac{V_i}{V}$$

und

$$P_i = \frac{V_i}{V} P. \quad (3)$$

Außerdem gilt für die Einzelkomponenten

$$P_i V = \frac{W_i}{M} R_0 T$$

und

$$W_i = \frac{P_i V M}{R_0 T}. \quad (4)$$

Substitution von Gl. (3) in Gl. (4) ergibt für das Gasgewicht der Einzelkomponenten

$$W_i = \frac{V_i P M}{R_0 T}. \quad (5)$$

Da das Molekulargewicht  $M$ , die allgemeine Gaskonstante  $R_0$  und die Lagertemperatur  $T$  bekannt sind und das Volumen  $V_i$  und der Druck  $P$  fortlaufend gemessen wurden, kann das Gewicht der in den Versuchsbehältern vorhandenen Gase ( $W_i$ ) nach Gl. (5) berechnet werden. Um den Einfluß der Leckverluste auf ein Minimum zu beschränken, wurde für die Kornfeuchtigkeit von 28–29% der in Bild 4 angegebene Druck verwandt.

In Tafel 6 sind die rechnerisch ermittelten CO<sub>2</sub>-Gesamtwerte und die von der aeroben Atmung erzeugten CO<sub>2</sub>-Mengen angegeben. Weiterhin sind die durch Subtraktion erhaltenen CO<sub>2</sub>-Gewichte der anaeroben Atmung aufgeführt und zu den ersteren ins Verhältnis gesetzt. Wie aus Tafel 6 ersichtlich ist, setzt die anaerobe Atmung beim Getreide mit 17–18% Wassergehalt etwa zu Beginn der dritten Woche ein. Dieser Zeitpunkt ergibt sich ebenfalls aus Bild 5, da anaerober Stoffwechsel einsetzt, wenn die CO<sub>2</sub>-Konzentration 17% übersteigt [2]. Bis zur achten Woche nimmt das aus der anaeroben Atmung stammende CO<sub>2</sub> zu, bis die 1,210fache Menge des aerob erzeugten CO<sub>2</sub> erreicht ist. In Getreide mit 22–23% Wassergehalt dürfte schon nach wenigen Tagen der anaerobe Stoffwechsel beginnen. Am Ende der zweiten Woche beträgt das Verhältnis der Kohlendioxidmengen der beiden Atmungsarten 1,320:1, um nach acht Wochen auf 6,680:1 zugunsten der anaeroben Atmung anzusteigen. In der höchsten Kornfeuchtigkeitsgruppe sind diese Vorgänge weiter beschleunigt und intensiviert. Das Verhältnis der Kohlendioxidmengen steigt von 9,23:1 in der zweiten Woche auf 10,25:1 in der achten Woche, woraus hervorgeht, daß in dieser Gruppe dem anaeroben Stoffwechsel die weitaus größere Bedeutung zukommt.

Die Auswirkungen der beiden Atmungsarten auf die Getreidequalität sind sehr verschieden voneinander. Während der aeroben Phase kann erwartet werden, daß die Atmungsvorgänge fast ausschließlich auf das Korn selbst als einem lebenden Organismus beschränkt bleiben. Gärungsbakterien finden wegen des sehr schnell verbrauchten Sauerstoffvorrates keine Gelegenheit sich auszubreiten. Folglich werden außer CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O so gut wie keine Stoffwechselprodukte erzeugt, die einen Einfluß auf die Kornqualität ausüben. In der anaeroben Phase dürfte jedoch genau das Gegenteil eintreten. Die Körner stellen ihren Stoffwechsel ein und anaerobe Gärungsbakterien beherrschen das Feld. Die Gärungsprozesse dauern wie bei jedem Silierungsprozeß solange an, bis die Konzentration der freigesetzten Stoffwechselprodukte, wie etwa Milchsäure, Alkohol und andere ausreicht, um alle Lebensvorgänge zu unterdrücken. Die Gärungsvorgänge selbst und die neben dem CO<sub>2</sub> erzeugten Stoffe sind nicht nur für die gärungserzeugenden Kleinlebewesen, sondern auch für die Qualität des Getreides von überragender Bedeutung. Qualitätsmerkmale wie Keim- und Backfähigkeit werden ausschließlich, sowie Trockensubstanzverluste zum weitaus größten Teil durch die Tätigkeit der anaeroben Gärungsbakterien bestimmt.

## 5. Diskussion der Versuchsergebnisse

Aus den Versuchsergebnissen geht hervor, daß alle Stoffwechselvorgänge mit steigendem Wassergehalt der Körner an Intensität und Ausmaß zunehmen. Die höhere Intensität wird besonders durch die Darstellungen über die Entwicklung der Gaskonzentration und der Keimfähigkeit unterstrichen. Die heftigere Reaktion drückt sich in den höheren Zuwachsraten und schneller erreichten Endwerten der Kurven des feuchtesten Getreides aus. Bei einem Wassergehalt von 28–29% erreichen Gaskonzentration und Keimfähigkeit in der dritten Woche Werte, die sich während der restlichen Lagerzeit nicht mehr änderten. Das größere Ausmaß der Fermentierungsvorgänge wird am besten durch die Höhe der Trockensubstanzverluste und des in den Behältern gemessenen Gasdruckes verdeutlicht. Beide Werte sind in allen Fällen höher als die entsprechenden Werte der niedrigeren Feuchtigkeitsgruppen. Getreide mit 17–18% Wassergehalt erreicht während der achtwöchigen Lagerzeit keine endgültigen Werte in den untersuchten Kriterien. Geringere Kornfeuchtigkeit verlangsamt die

Tafel 6: Einfluß der Lagerzeit auf die anaerobe Atmung von Weizen verschiedener Kornfeuchtigkeit bei Lagerung in luftdicht verschlossenen Behältern

Lagertemperatur: 20 °C (68 °F)

Lagerzeit [Wochen]	Kohlendioxidgewicht in Weizen mit einer Kornfeuchtigkeit [%] von											
	17—18				22—23				28—29			
	CO <sub>2</sub> gesamt [g]	CO <sub>2</sub> aerob [g]	CO <sub>2</sub> anaerob [g]	CO <sub>2</sub> relativ <sup>1)</sup>	CO <sub>2</sub> gesamt [g]	CO <sub>2</sub> aerob [g]	CO <sub>2</sub> anaerob [g]	CO <sub>2</sub> relativ	CO <sub>2</sub> gesamt [g]	CO <sub>2</sub> aerob [g]	CO <sub>2</sub> anaerob [g]	CO <sub>2</sub> relativ
2	0,477	0,516	0,0	0,0	1,340	0,528	0,762	1,320	5,940	0,581	5,359	9,230
3	0,520	0,415	0,105	0,253	3,040	0,581	2,452	4,210	6,310	0,581	5,729	9,880
4	0,784	0,446	0,338	0,758	3,240	0,535	2,705	5,050	6,450	0,581	5,869	10,100
5	0,943	0,472	0,471	1,000	4,290	0,535	3,755	7,020	6,540	0,581	5,959	10,250
6	1,020	0,551	0,519	0,943	4,120	0,564	3,556	6,300	6,580	0,581	5,999	10,320
7	1,220	0,550	0,220	1,310	3,540	0,521	2,969	5,210	6,540	0,581	5,959	10,250
8	1,210	0,548	0,662	1,210	4,290	0,558	3,732	6,680	6,540	0,581	5,959	10,250

<sup>1)</sup> Verhältnis von anaerob zu aerob erzeugtem CO<sub>2</sub>

Fermentierungsvorgänge erheblich. Die mittlere Kornfeuchtigkeitsgruppe (22—23%) nimmt in bezug auf die gewonnenen Versuchsergebnisse eine Mittelstellung ein. Die Gärungsprozesse und ihre Auswirkungen scheinen nach acht Wochen luftdichter Lagerung ein Endstadium erreicht zu haben. Ihr Ausmaß ist geringer als in der höchsten Feuchtigkeitsgruppe, wie aus den Darstellungen über die Entwicklung des Gasdruckes und der Trockensubstanzverluste gefolgert werden kann.

Es erhebt sich die Frage, welche Konsequenzen sich aus den gewonnenen Versuchsergebnissen für die Praxis ziehen lassen. Hier wäre zunächst zu erwähnen, daß zur Erhaltung der Lageratmosphäre und aus Sicherheitsgründen zuverlässig abgedichtete Behälterwände erforderlich sind. Ferner müssen alle Öffnungen zum Beschicken und Entleeren der Behälter luftdicht verschließbar sein. Die CO<sub>2</sub>-Produktion der aeroben und anaeroben Atmung, wetterbedingte Temperaturschwankungen im Behälter und teilweises Füllen und Leeren setzen Druckausgleichsvorrichtungen voraus. Einblasen von CO<sub>2</sub> in Getreide mit einem Wassergehalt über 22% unmittelbar nach dem Füllen der Behälter ist nicht sehr erfolgversprechend, da weniger die CO<sub>2</sub>-Konzentration als vielmehr die Konzentration anderer Stoffwechselprodukte die Gärungsprozesse beendet. Lediglich die relativ kurze aerobe Phase würde durch diese Maßnahme beeinflusst werden. Bei Kornfeuchtigkeiten unter 22% könnte das Einblasen von CO<sub>2</sub> jedoch von Wert sein, indem dadurch von Anfang an anaerobe Bedingungen im Getreide geschaffen werden. Pilzarten wie *Aspergillus flavus*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium rubrum* und *Penicillium puberulum*, die für den menschlichen und tierischen Organismus äußerst gefährliche Mycotoxine erzeugen können [7], wären dann an ihrer Entwicklung gehindert [1; 2; 4]. Die zu Beginn der Lagerung im Getreide vorhandene Sauerstoffmenge ist jedoch sehr gering, so daß eine Vergiftungsgefahr so gut wie ausgeschlossen ist.

Die Trockensubstanzverluste steigen während der gasdichten Lagerung im Vergleich zur normalen Lagerung trockenen Getreides (14% Wassergehalt) in gleichem Zeitraum zu Anfang der Lagerzeit stärker an. Unter regulären Speicherbedingungen betragen sie etwa 1% je Halbjahr [8]. Diese Grenze wurde in den Versuchen vom Getreide mit einem Wassergehalt von 28—29% schon nach etwa drei Wochen überschritten. Nach diesem Zeitpunkt nahmen die Verluste aber nicht mehr zu, da jeder Stoffwechsel im Getreide zum Stillstand gekommen war. Bei einer Kornfeuchtigkeit von 22—23% hört der Stoffwechsel nach etwa sieben bis acht Wochen auf. Die Trockensubstanzverluste übersteigen während dieser Zeit die 1%-Grenze nicht. Wird das Getreide jetzt getrocknet, können bei anschließender Speicherlagerung sehr geringe Verluste erwartet werden, da die Körner selber keinen Stoffwechsel mehr aufnehmen. Ferner ist die Zahl der anhaftenden Kleinlebewesen stark reduziert [2]. Die Verluste dürften sich also nach längerer Lagerzeit kaum von denen der regulären Lagerung unterscheiden. Wird die gasdichte Lagerung zu einem Zeitpunkt unterbrochen, an dem die Keimfähigkeit noch nicht beeinträchtigt ist, ergeben sich im Vergleich zum Getreide, das unmittelbar nach dem Abernten getrocknet und gelagert wird, etwas höhere Verluste.

Diese Bedingung gilt während der gesamten achtwöchigen Lagerzeit für die Körner mit einem Wassergehalt von 17—18%.

Keimfähigkeitsverluste lassen sich bei der gasdichten Lagerung von Feuchtgetreide nicht vermeiden. Saatgetreide und Braugerste mit einem Wassergehalt über 18% können nicht in der beschriebenen Weise gelagert werden, ohne in Hinsicht auf ihren speziellen Verwendungszweck dem Risiko eines Totalverlustes zu unterliegen. Luftdichte Lagerung in feuchtem Zustand ist für dieses Getreide nur sehr bedingt anwendbar, indem sie auf Kornfeuchtigkeiten bis zu etwa 18% und Lagerzeiten von wenigen Wochen begrenzt ist.

Die Untersuchungen auf Mahlbarkeit und Backfähigkeit brachten ein überraschendes Ergebnis, insofern als die Körner der mittleren Kornfeuchtigkeitsgruppe während der luftdichten Lagerung trotz Verlustes ihrer Keimfähigkeit eine Qualitätsverbesserung zeigten. Der steigende Aschegehalt des Mehles deutet auf zwei Ursachen hin. Erstens führt die Veratmung von organischer Substanz zu einer höheren Konzentration an Aschebestandteilen, und zweitens besteht die Möglichkeit, daß der anaerobe Fermentierungsprozeß einen besseren Aufschluß der an Aschebestandteilen reichen Kornschale zur Folge hat. Letztere Annahme wird besonders durch die mit fortschreitender Lagerzeit stetig verbesserte Mehlausbeute unterstützt. Der Eiweißgehalt des Mehles bleibt unverändert. Die Kleberqualität und damit das Gashaltungsvermögen des Brotes erfährt in der Gruppe mit 22—23% Wassergehalt von der vierten bis zur siebten Woche eine klare Verbesserung, was aus der verlängerten Anrührzeit (Kleberzähigkeit), dem zunehmenden Brotvolumen (Festigkeit und Widerstandsfähigkeit des Klebers) und dem verbesserten Gesamturteil über die Brotqualität hervorgeht. Das Gasbildungsvermögen des Weizens bleibt praktisch unverändert. Eine Geruchsbeeinträchtigung wie beim Weizen mit einem Wassergehalt von 28—29% konnte in der Gruppe mit 22—23% H<sub>2</sub>O nicht festgestellt werden.

Zum Abschluß dieser Ausführungen kann gefolgert werden, daß die Lagerung unter Luftabschluß nicht nur für feuchtes Futtergetreide, sondern unter bestimmten Bedingungen auch für Qualitätsgetreide anwendbar ist. Sie bietet die Möglichkeit, die Konservierungs- und Lagerungsverfahren zu vereinfachen. Damit ist die Aussicht gegeben, daß sich mit ihrer Hilfe die Aufnahmelastizität der gewerblichen Trocknungsanlagen verbessern läßt. Es verbleiben jedoch Probleme, die noch der Klärung bedürfen. Fragen, wie lange das nach der luftdichten Lagerung getrocknete Getreide lagerfähig ist, welche Kornfeuchtigkeitsgrenzen nicht überschritten werden dürfen, welche Folgen sich aus dem veränderten Fließverhalten des feucht gelagerten Getreides für die Fördertechnik ergeben, müssen beantwortet werden. Ferner bedarf der Einfluß, der sich in der Praxis aus den veränderten Temperaturbedingungen ergibt, näherer Untersuchung. Die in den beschriebenen Versuchen gewonnenen Ergebnisse beziehen sich auf eine konstante Lagertemperatur von 20 °C (68 °F), die unter praktischen Lagerungsverhältnissen nicht eingehalten wird. Antworten zu den aufgeworfenen Fragen können in größer angelegten Versuchen bei Benutzung regulärer Lagerbehälter gefunden werden.

## Zusammenfassung

Im Sommer 1964 wurden am Agricultural Engineering Department der Michigan State University Versuche mit luftdicht gelagertem Feuchtgetreide durchgeführt. Die Kornfeuchtigkeit des erntefrischen Versuchsmaterials, welches die vier Hauptgetreidearten Weizen, Roggen, Gerste und Hafer umfaßte, betrug 17 bis 18%, 22–23% und 28–29% (Feuchtbasis). Das Getreide wurde in Behältern mit einem Fassungsvermögen von 3,7854 l (1 US-gallon) unter Luftabschluß bei einer Temperatur von 20° C (68° F) über einen Zeitraum von maximal acht Wochen gelagert. In wöchentlichen Abständen wurden bei jeder Getreideart in den einzelnen Kornfeuchtigkeitsgruppen jeweils drei Behälter auf die nachstehend genannten Kriterien untersucht. Vor dem Öffnen erfolgte die Messung des Gasdruckes und der Gaskonzentration. Im Anschluß daran wurden die Trockensubstanzverluste und die Kornfeuchtigkeit bestimmt. Nach der dann folgenden Trocknung des Getreides auf etwa 12% Wassergehalt bei einer Trocknungstemperatur von etwa 40° C (104° F) wurden Keimfähigkeit, pH-Wert der Körner und Backfähigkeit (Weizen) untersucht. Aus den Versuchen geht hervor, daß Saatgetreide und Braugerste mit einem Wassergehalt über 18% sich nur wenige Wochen unter den genannten Bedingungen lagern lassen. Damit kommt die gasdichte Lagerung als Konservierungsverfahren für solches Getreide praktisch nicht in Betracht. Brotgetreide mit einer Kornfeuchtigkeit bis zu 23% läßt sich dagegen unter denselben Bedingungen mit Erfolg konservieren.

## Schrifttum

- [1] GLASS, R. L., J. G. PONTE, C. M. CRISTENSEN, and W. F. GEDDES: Grain Storage Studies XXVII. The influence of Temperature and Moisture Level on the Behavior of Wheat Stored in Air or Nitrogen. *Cereal Chemistry* 4 (1959), pg. 341.
- [2] HYDE, M. B., and T. A. OXLEY: Experiments on the Airtight Storage of Damp Grain. I. Introduction Effect on the Grain and the Intergranular Atmosphere. *Ann. Applied Biology* 48 (1960), pg. 687–710.
- [3] OXLEY, T. A., and M. B. HYDE: The Airtight Storage of Damp Grain. *Farm Mechanization* 102 (1957), pg. 473.
- [4] PETERSON, A. V., SCHLEGEL, B., HUMMEL, L. S., CUENDET, W. F., GEDDES and C. M. CRISTENSEN: Grain Storage Studies XXII. Influence of Oxygen and Carbon Dioxide Concentrations on Mould Growth and Grain Deterioration. *Cereal Chemistry* 1 (1956), pg. 53.
- [5] PRATT, WATSON and PROMERSBERGER: High Moisture Barley Storage. *Univ. of N. Dakota Agr. Exp. Sta. Reprint* 541 (from *Farm Research* 21 (1961), March-April, pg. 4–8).
- [6] HALL, G. W.: *Drying Farm Crops*. Agricultural Consulting Associates, Inc. Reynoldsburg/Ohio 1957.
- [7] United States Department of Agriculture: Preventing Mold-Caused Toxins in Farm Commodities. *ARS Special Report* 22–92, Agr. Research Service, March 1965.
- [8] DENCKER, C. H., II. HEDT und H. L. WENNER: Einrichtungen auf dem Hofe zur Lagerung und Trocknung von Erntedruschgetreide. 3. Auflage. Verlag Hellmut Neureuter, Wolfratshausen 1961.

## Résumé

*Anton G. Meiering and Fred W. Bakker-Arkema: "Short time sealed storage of wet grains".*

*During the summer of 1964 problems of gastight storage of wet grains were investigated at the Agricultural Engineering Department of Michigan State University. Wheat, rye, barley and oats were stored in hermetically sealed containers at moisture contents of 17–18%, 22–23%, and 28–29% wet basis for a maximum storage period of 8 weeks. The environmental temperature was held constant at 20° C (68° F). The storage containers had a volume of 3,7854 l (1 US-gallon). The gas pressure, gas concentration, dry matter losses, moisture content, germination, pH and baking qualities (only for wheat) were determined weekly. Before the grain was tested for the last three criteria it was dried to a moisture content of about 12% wet basis at a temperature of about 40° C (104° F). The most important conclusion drawn from this study is that seed grain and barley, which is to be used for brewing purposes, cannot be stored for eight weeks under sealed conditions at 20° C (68° F) with moisture contents much above 18%. However, grain for human consumption can successfully be held under those conditions even at moisture contents as high as 23%.*

*Anton G. Meiering et Fred W. Bakker-Arkema: «Essais avec des céréales humides conservées dans des récipients étanches à l'air.»*

*En été 1964 on a entrepris à l'Agricultural Engineering Department de la Michigan State University des essais avec des céréales humides conservées dans des récipients étanches à l'air. L'humidité des grains introduits directement après la récolte dans les récipients et comprenant les quatre sortes principales de céréales blé, — seigle, orge et avoine — s'élevait à 17 à 18%, 22 à 23% et 28 à 29%. Les grains ont été stockés dans des récipients étanches à l'air d'une capacité de*

*3,7854 litres (1 gallon américain) à une température de 20° C (68° F) pendant huit semaines au maximum. Chaque semaine on a toujours examiné trois récipients de chaque sorte de grains et de chaque groupe d'humidité et on a déterminé les critères suivants. Avant l'ouverture des récipients on a mesuré la pression de gaz et la concentration de gaz. Ensuite on a déterminé les pertes en substances sèches et l'humidité des grains. Après avoir remanié l'humidité des grains à environ 12% en les séchant à une température d'environ 40° C (104° F), on a examiné leur pouvoir de germination, leur pH et leurs aptitudes au cuisson (blé). Les essais ont montré que les grains de semence et l'orge destinée aux brasseries dont la teneur en humidité est supérieure à 18%, ne peuvent être stockés que quelques semaines dans les conditions décrites. Le stockage dans des récipients étanches à l'air ne peut donc être envisagé pour ces céréales. Par contre, les céréales destinées aux boulangeries contenant jusqu'à 23% d'humidité, peuvent être conservées avec succès dans les mêmes conditions.*

*Anton G. Meiering y Fred W. Bakker-Arkema: «Ensayos de almacenaje de cereales húmedos.»*

*En el Departamento de Técnica Agrícola de la Universidad del Estado de Michigan (USA) en verano de 1964 se llevaron a cabo ensayos de almacenaje de cereales húmedos. El grado de humedad de los granos acabados de cosechar, de los cuatro cereales más importantes, o sea trigo, centeno, cebada y avena, era del 17 al 18%, del 22 al 23%, y del 28 al 29% (humedad base). Los cereales se almacenaron en recipientes herméticamente cerrados con cabida de 3,7854 litros (1 galón USA) a la temperatura de 20° C (68° F) durante 8 semanas como máximo. Con intervalos de una semana se reconocieron cada vez tres recipientes de cada cereal de los diferentes grados de humedad bajo las condiciones siguientes: Antes de abrir los recipientes se midieron la presión de los gases y su concentración y, después de abrir, las pérdidas de sustancia seca y la humedad. Después de secar el cereal a aprox. 40° C (104° F) hasta aprox. el 12% de contenido de agua, se reconocieron la capacidad germinativa y el valor en por cientos de los granos y la capacidad aglutinante del trigo. Los ensayos demostraron que los cereales destinados para la siembra y la cebada para la fabricación de cerveza, con contenido de más del 18% de humedad se pueden almacenar en estas condiciones solamente por pocas semanas, por lo que el almacenaje en recipientes impermeables a gases, como procedimiento de conservación no es aplicable a dichos cereales. En cambio, los cereales con contenido de humedad hasta el 23%, destinados a la panificación, pueden conservarse en estas condiciones con resultado satisfactoria.*

## Das Arbeitsverfahren Feuchtgetreidesilage

von UDO RIEMANN. Berichte über Landtechnik Nr. 90, herausgegeben vom Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft. Hellmut-Neureuter-Verlag, Wolfratshausen 1965. 135 Seiten, 44 Abbildungen, 13 Tabellen. DIN A 5, Preis: kart. 7,00 DM.

Das Mähdrusch-Getreide kann vom Landwirt in verschiedener Form weiterverarbeitet werden. Es kann zum Beispiel in betriebs-eigenen oder gemeinschaftlichen Trocknungsanlagen getrocknet und dann beliebig zum Verkauf oder zu Futterzwecken verwendet werden. Es kann aber auch nach einem speziellen Verfahren ohne jegliche Behandlung nach dem Mähdrusch einsiliert werden. Diese Konservierungsmöglichkeit ist in der Bundesrepublik noch wenig bekannt. Es wurde deshalb im Institut für landwirtschaftliches Maschinenwesen der Universität Kiel auf seine Eignung unter hiesigen Bedingungen untersucht. Die Ergebnisse dieser Arbeit sind soeben erschienen (siehe auch den vorstehenden Aufsatz von MEIERING/BAKKER-ARKEMA).

Zunächst werden in der neuen Schrift eingehend die gärbio-logischen Zusammenhänge, die im wesentlichen nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie bei der Grünfuttersilage verlaufen, beleuchtet. Alle Beobachtungen und Messungen dazu wurden in einem gasdichten Konservierungsbehälter mit Druckausgleichs-system und automatischer Entleerungseinrichtung vorgenommen. In den zwei folgenden Abschnitten beschreibt der Verfasser eingehend den Verlauf der Arbeitskette „Feuchtgetreidesilage“ von der Mähdruscherente über das Beschieken und Entleeren des Silos bis zur Herstellung der Futtermischung in einer automatischen Aufbereitungsanlage. Dabei wird die neu entwickelte Anlage, die besonders für Futtermischungen mit Körnersilageanteil gebaut wurde, im einzelnen beschrieben.

In einer betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Betrachtung werden schließlich im letzten Abschnitt die Kosten des neuen Verfahrens den Kosten für das Trocknen feuchten Futtergetreides mit anschließender Lagerung gegenübergestellt. Abschließend sind die möglichen Auswirkungen und die Grenzen des Verfahrens aufgezeigt.