

bern wurden im üblichen Durchsatzbereich gleiche Geschwindigkeiten wie mit nicht umwickelten Signalgebern gemessen. Schließlich wurde versucht, den Schlupf zwischen Gut und Signalgeber dadurch zu bestimmen, daß das Gut eingefärbt und der Signalgeber innerhalb eines eingefärbten Gutabschnittes angeordnet wurde. Nach Verlassen des Axialdreschwerkes wurde das Gut vor einer senkrechten Prallwand gesammelt. Bei der Untersuchung des Haufwerkes war der Signalgeber innerhalb des eingefärbten Gutes zu finden. Diese Versuche lassen darauf schließen, daß zwischen Signalgeber und Gut kein oder nur vernachlässigbar geringer Schlupf auftritt und der im Schrumpfschlauch eingebettete Magnet als Signalgeber zur Bestimmung der Geschwindigkeit eingesetzt werden kann.

4. Meßergebnisse

Als Beispiel für einige bisher vorliegende Ergebnisse ist in **Bild 6** die Axialgeschwindigkeit über der Abscheidelänge für ein Versuchs-Axialdreschwerkzeug für trockenes Versuchsgut (Weizen, $U_{\text{Stroh}} = 11\%$, $U_{\text{Korn}} = 12\%$) dargestellt. Die Gutgeschwindigkeit in axialer Richtung ist nach dem Einzugsbereich zunächst gering, sie nimmt über der Abscheidelänge aufgrund der Gestaltung der Förder- und Führungsleisten progressiv zu.

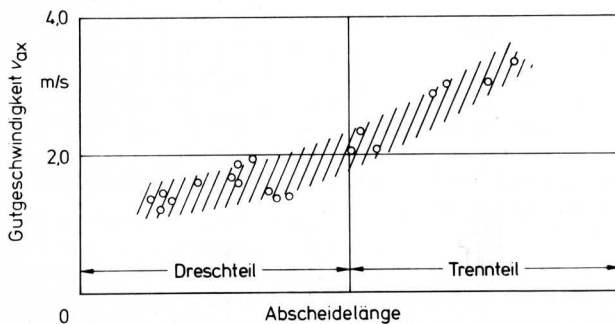


Bild 6. Axiale Geschwindigkeit des Gutes in Abhängigkeit von der Abscheidelänge.

Aufgrund der bisherigen Versuche muß angenommen werden, daß die Richtung der Gutbewegung nicht am gesamten Umfang des Axialdreschwerkes gleich ist, sondern daß sich das Gut im unteren Bereich des Dreschteiles unter einem steileren Winkel als im oberen Bereich bewegt. Durch Anordnung weiterer Reihen von Meßspulen können auch der Geschwindigkeitsverlauf und Richtungsänderungen über dem Umfang bestimmt werden.

5. Zusammenfassung

Eine wesentliche Voraussetzung für eine funktionsgerechte Gestaltung des Dresch- und Trennbereichs von Axialdreschwerken ist die Kenntnis der Gutbewegung in Abhängigkeit von gutbedingten und werkzeugbedingten Einflußgrößen. Es wird eine Meßeinrichtung beschrieben, mit der Betrag und Richtung der Gutgeschwindigkeit im Bereich zwischen Rotor und Mantel eines Axialdreschwerkes bestimmt werden können. Die Meßeinrichtung arbeitet auf induktiver Basis nach dem Verfahren der Verweilzeitmessung. Als Signalgeber wird ein Magnet verwendet, der in einem Schrumpfschlauch eingebettet ist. Als Sensoren sind mehrere Meßspulen am Mantel des Axialdreschwerkes angeordnet. Beim Passieren löst der Signalgeber am entsprechenden Sensor einen Impuls zur Zeitmessung aus, gleichzeitig wird durch eine Leuchtdiode der impulsgebende Sensor markiert, so daß Größe und Richtung der Gutgeschwindigkeit berechnet werden können. Die bisherigen Versuche haben die Zuverlässigkeit dieser Geschwindigkeitsmeßeinrichtung bestätigt.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Wacker, P. u. Th. Freye: Alternative Druschsysteme in amerikanischen Großmähdreschern. Landtechnik Bd. 34 (1979) Nr. 6, S. 287/89.
- [2] Barth, W.: Strömungsvorgänge beim Transport von Festteilchen und Flüssigkeitsteilchen in Gasen. Chem.-Ing.-Technik Bd. 30 (1958) Nr. 3, S. 171/80.
- [3] Schulz-Walz, A.: Messung von Schüttgutgeschwindigkeiten am Beispiel der Schwingsiebzentrifuge. Chem.-Ing.-Technik Bd. 46 (1974) Nr. 6, S. 259.
- [4] ● Profos, P.: Handbuch der industriellen Meßtechnik. Essen: Vulkan 1974.

Atmungswärme und Atmungsverluste von Körnermais

Von Reinhold Scherer, Heinz Dieter Kutzbach, Martin Thaler und Hans-Martin Müller, Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 633.15:633.004.12:581.12

Im Hinblick auf eine Reduzierung des Energiebedarfes bei der Konservierung von Körnerfrüchten kommt zukünftig Trocknungsverfahren, die mit nicht oder nur geringfügig vorgewärmter Außenluft arbeiten, erhebliche

*) Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach ist Inhaber des Lehrstuhls Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim. Dr.-Ing. R. Scherer war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Fachgebiet Grundlagen der Landtechnik) und ist nun Mitarbeiter der Fa. Mars GmbH, Viersen. Dr. M. Thaler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Fachgebiet Mikrobiologie). Prof. Dr. H.-M. Müller vertritt das Fachgebiet Futtermittelkunde und Futtermittelmikrobiologie am Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim.

Bedeutung zu. Da das Gut bei der Trocknung in diesem Temperaturbereich länger höhere Feuchtegehalte aufweist, besteht die Gefahr, daß durch enzymatische oder mikrobielle Veränderungen Qualitätsverluste auftreten.

Im folgenden wird über die Untersuchung der Atmungsintensität und der Keimzahl von Mikroorganismen bei Körnermais im Temperaturbereich zwischen 5 und 50 °C berichtet. Dabei wurden Feuchtegehalte zwischen 14 und 45 % berücksichtigt. Aus der Atmungsintensität wird über den zulässigen Trockensubstanzverlust eine aus ökonomischer Sicht maximale Lagerdauer ermittelt.

Auszug aus einer vom Fachbereich Energietechnik der Universität Stuttgart genehmigten Dissertation [1], ergänzt durch weitere Ergebnisse.

Die Verfasser danken der LTA Frau D. Dörner-Ibrahim für die sorgfältige Durchführung der Messungen und Dokumentation der Ergebnisse.

1. Einleitung

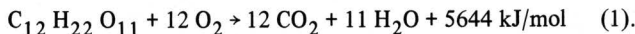
Neben einer Veränderung der Inhaltsstoffe und der technologischen Eigenschaften des Maiskorns durch von außen aufgebrachte thermische Belastungen kann die Qualität durch die Atmungstätigkeit des Korns und durch mikrobielle Vorgänge beeinträchtigt werden. Bei der Atmung wird insbesondere bei feuchtem Gut eine beträchtliche Wärmemenge, die Atmungswärme, frei. Diese führt aufgrund der geringen Wärme- und Temperaturleitfähigkeit der Körnermaisschüttung [1] zu einer schnellen Temperaturerhöhung im Haufwerk.

Verschiedene Autoren [2 bis 8] untersuchten vor allem die Atmungstätigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt bei Ährengetreide, Sojabohnen, Sonnenblumenkernen, Hirse, Flachs und auch Mais. Für Mais liegen jedoch für die in Deutschland üblichen Erntefeuchtegehalte bis über 40 % praktisch keine Werte für die Atmungstätigkeit vor. Bisher fehlen ebenfalls Angaben über den Einfluß höherer Temperaturen auf die Atmungstätigkeit.

Im folgenden wird über Untersuchungen zur Bestimmung der Atmungswärme und der Atmungsverluste an Einzelkörnern und Haufwerken von Mais mit Feuchtegehalten bis 45 % berichtet. Die Werte für die Atmungstätigkeit werden durch Angaben über die Veränderung des Mikroorganismenbesatzes während der Lagerung ergänzt.

2. Grundlagen

Bei der Atmung werden die im Korn enthaltenen Kohlenhydrate, Stärke und Zucker, unter Aufnahme von Sauerstoff in Kohlendioxid und Wasser zerlegt, wobei Wärme frei wird [9]. Dieser Prozeß läßt sich durch folgende chemische Gleichung beschreiben:



Daraus ergibt sich, daß 1 mg CO_2 , das bei der Atmung entsteht, einer Veratmung von 0,648 mg Trockensubstanz und einer Atmungswärmeproduktion von 10,68 J entspricht.

Die Intensität der Atmung wird im wesentlichen durch Feuchtegehalt und Temperatur bestimmt [3 bis 16]. Je feuchter und wärmer das Korn ist, desto stärker atmet es. Weiter beeinflusst die Zusammensetzung der Atmungsluft die Atmungsaktivität. Mangel an Sauerstoff und Überschuß an CO_2 verringern die Atmung [3; 11 bis 15]. Daneben ist die Atmung von den spezifischen Eigenschaften des Korns wie beispielsweise Nährstoffzusammensetzung, Mengenverhältnis von Endosperm zu Embryo, Korndicke und Reifezustand der Körner selbst abhängig [8, 11 bis 15]. Ein weiterer Einflußfaktor ist der Beschädigungsgrad der Körner. Je mehr Beschädigungen das Korn aufweist, desto stärker atmet es [7].

Neben den enzymatischen Reaktionen können mikrobiologische Vorgänge zur Atmungswärmeproduktion beitragen. Dies gilt insbesondere, wenn die relative Luftfeuchte in der Schüttung (die Wasseraktivität a_w) über 0,65 beträgt [17, 18]. Die Hyphen der meist schon vom Feld her vorhandenen Schimmelpilze können in das Korninnere eindringen und sich hier am Nährstoffabbau beteiligen [17, 19]. Etwa vorhandene Entwicklungsstadien von Insekten können ebenfalls zur Wärmeproduktion beitragen [20]. Bei ungenügender Belüftung kann es dadurch zur Selbsterhitzung kommen.

Dieser Prozeß führt zu einer erheblichen Qualitätsminderung der Körner. Sie ist bedingt durch Beeinträchtigung von Aussehen, Geschmack, Geruch und durch Verminderung der Keimfähigkeit, der Genuß- und Verarbeitungsfähigkeit und des Nährwertes [10, 11, 17]. Eine gefährliche Konsequenz des Mikroorganismenwachstums ist das Entstehen von Mykotoxinen, d.h. von Giftstoffen, die durch Schimmelpilze gebildet werden [17].

3. Atmungswärme und Atmungsverluste von Einzelkörnern

3.1 Versuchsbeschreibung

Zur Bestimmung der Atmungswärme und der Atmungsverluste in Laborversuchen unter genau definierten Bedingungen wurde eine Warburg-Apparatur (Typ F 166) mit Doppelkapillarmanometern der Firma B. Braun, Melsungen, eingesetzt, die sich den manometrischen Methoden zuordnen läßt, Bild 1.

Für die Durchführung der Versuche werden die mit ca. 4 g Mais beschickten Reaktionsgefäße mit den Manometern verbunden und in den Thermostaten eingehängt. Um einen vollkommenen Gasaustausch zwischen der gasförmigen (CO_2) und der flüssigen Phase (NaOH) in den Reaktionsgefäßen zu gewährleisten, werden diese während des Versuches kontinuierlich geschüttelt. Nach Ausgleich der Temperatur in den Reaktionsgefäßen werden diese geschlossen, die Manometer auf den Nullpunkt justiert, und die Messungen beginnen.

Temperaturschwankungen im Thermostaten und Luftdruckschwankungen in der Atmosphäre werden mittels Thermobarometern korrigiert. Um Fehler durch den schon bei Versuchsbeginn vorliegenden CO_2 -Gehalt der freien Atmosphäre in den Reaktionsgefäßen zu vermeiden, werden die Thermobarometer ebenfalls mit NaOH beschickt. Mit Hilfe der stöchiometrischen Beziehungen für den Atmungsprozeß können Atmungswärme und Trockensubstanzverluste berechnet werden.

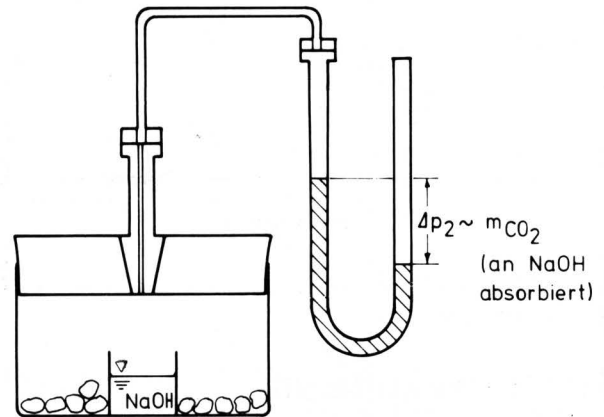


Bild 1. Warburg-Apparatur zur Bestimmung der Atmungsintensität von Einzelkörnern, schematisch.

3.2 Versuchsergebnisse

In Bild 2 und 3 ist die Atmungswärme in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt der Körner und der Temperatur dargestellt. Der Feuchtegehalt wurde zwischen 15 und 45 %, die Temperatur zwischen 5 und 50 °C variiert. Die eingetragenen Punkte sind Mittelwerte aus durchschnittlich 5 Messungen. Aus den Bildern ist ersichtlich, daß die Atmungswärme sowohl mit dem Feuchtegehalt als auch mit der Temperatur stark ansteigt. In der halblogarithmischen Darstellung von Bild 2 erscheint dieser Anstieg als Gerade, so daß sich die Atmungswärme in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt als e-Funktion angeben läßt.

In Abhängigkeit von der Temperatur folgen die Werte für die Atmungswärme nur bis zu einer Temperatur von ca. 35 °C einer e-Funktion, oberhalb 35 °C steigen die Werte degressiv bis zu einem Maximum an und sinken dann aufgrund nachlassender Enzymaktivität und Mikroorganismenaktivität ab, Bild 3. Das Maximum der Atmungsintensität hängt vom Feuchtegehalt ab; es liegt zwischen 40 °C und etwa 50 °C und wird umso eher erreicht, je feuchter das Gut ist.

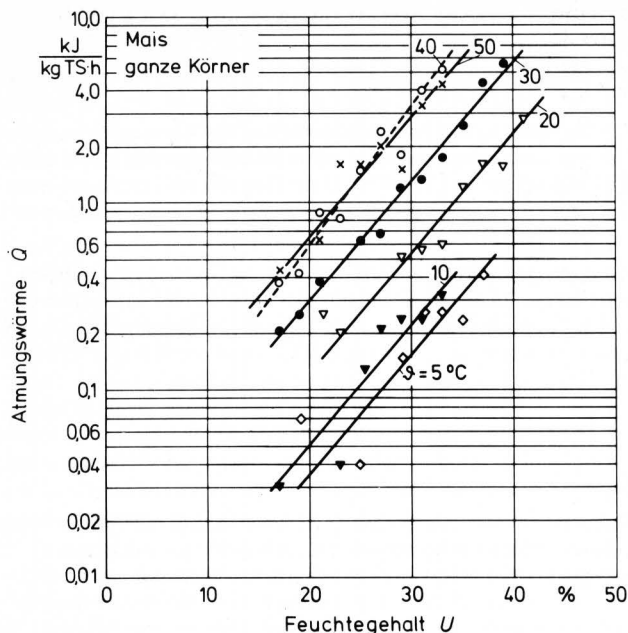


Bild 2. Atmungswärme unbeschädigter Maiskörner in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt bei verschiedenen Korntemperaturen.

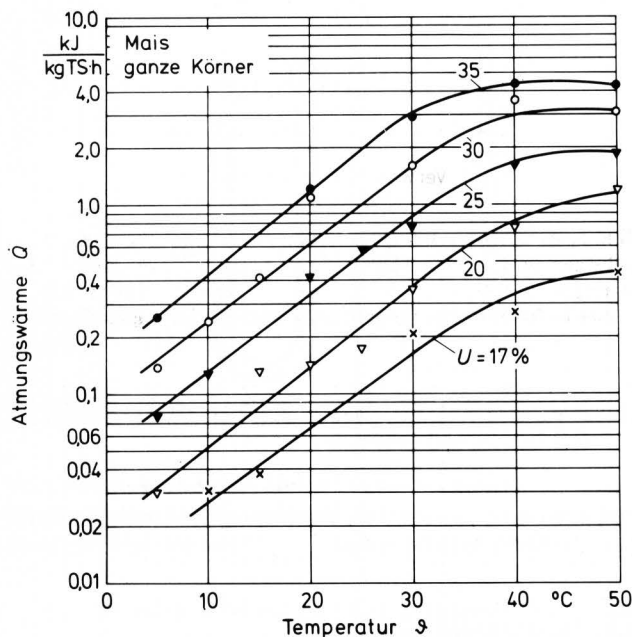


Bild 3. Atmungswärme unbeschädigter Maiskörner in Abhängigkeit von der Korntemperatur, Feuchtegehalt der Körner als Parameter.

Wie ein Vergleich der Bilder 2 und 3 zeigt, hat eine Erhöhung des Feuchtegehaltes des Gutes um 1 % einen größeren Einfluß auf die Atmungswärme als eine Temperatursteigerung um 1 °C (vgl. auch [9]).

Neben dem Feuchtegehalt sind noch weitere den Gutzustand charakterisierende Parameter von Bedeutung. So besitzen bei höheren Temperaturen ($\vartheta_L = 200$ °C) getrocknete Maiskörner eine wesentlich geringere Atmungsintensität als mit niedrigen Lufttemperaturen ($\vartheta_L < 60$ °C) getrocknete. Der Rückgang der Atmungswärme-Produktion der vorgetrockneten Körner ist umso deutlicher, je höher der Feuchtegehalt $U_{\frac{1}{2}}$ der Körner nach der Vortrocknung mit hohen Lufttemperaturen ist. Bei einem Feuchtegehalt von 25,5 % beträgt die Atmungswärme des mit hohen Lufttemperaturen vorgetrockneten Gutes 18 % der Atmungswärme des mit nie-

drigen Temperaturen getrockneten Gutes; bei einem Feuchtegehalt von 18,8 % beträgt der entsprechende Wert 34 % und bei einem Feuchtegehalt von 14,5 % beträgt er 89 %.

Die niedrigeren Werte für die Atmungsintensität des mit hohen Lufttemperaturen vorgetrockneten Gutes dürften im wesentlichen auf den Sterilisationseffekt der hohen Lufttemperaturen zurückzuführen sein, die sowohl die Enzymaktivität als auch die Mikroorganismenaktivität herabsetzen. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß durch die Trocknung mit hohen Lufttemperaturen auf einen Feuchtegehalt von 19–24 % der Besatz mit Bakterien um etwa 3 Zehnerpotenzen, der Besatz mit Hefen und Schimmelpilzen um 1 bis 2 Zehnerpotenzen herabgesetzt wird [21].

Das ungereinigte Erntegut weist neben den ganzen, d.h. unbeschädigten, Körnern stets auch Anteile an beschädigten Körnern und Beimengungen (Stengel- und Spindelteile) auf, die ein Vielfaches der Atmungsintensität der ganzen Körner besitzen. Beimengungen atmen ca. 5mal so stark wie unbeschädigte Körner, was sich mit der größeren Oberfläche der Beimengungen erklären läßt. Außerdem sind die Beimengungen wesentlich feuchter als die Maiskörner. Beschädigte Körner besitzen gegenüber den unbeschädigten Körnern eine 2 bis 4mal so große Atmungsintensität. Der niedrigere Wert gilt für Beschädigungen, die im Endosperm lokalisiert sind, der höhere Wert für Beschädigungen im Bereich des Embryos.

Um eine Aussage über den Anteil der Mikroorganismen an der Gesamtatmung treffen zu können, wurden die Körner mit einer 1 %igen NaOCl-Lösung oberflächensterilisiert. Dabei wurde jedoch nur die an der Oberfläche der Körner lokalisierte Mikroflora abgetötet. Bei den so behandelten Körnern wurden um ca. 8 % geringere Werte für die Atmungstätigkeit ermittelt.

Da die Körner auch im Innern Pilzmyzel enthalten können, muß offen bleiben, wie hoch der Anteil der gesamten Mikroflora an der Atmung ist. Nach eigenen Messungen sind bei erntefrischem Gut zwischen 60 und 80 % der Maiskörner auch im Innern infiziert, dies stimmt in der Größenordnung mit Befunden an Weizen überein [17].

Signifikante Unterschiede in der Atmungsintensität zwischen den untersuchten Maissorten wurden nicht festgestellt. Ebenso zeigte sich kein ausgeprägter Einfluß des Erntejahres auf die Atmungsintensität; die Differenzen zwischen vergleichbaren Werten des Erntejahres 1977 waren zum Teil größer als zwischen entsprechenden Werten der Erntejahre 1976 und 1977.

4. Atmungswärme und Atmungsverluste von Kornhaufwerken bei der Kaltlufttrocknung

4.1 Versuchsbeschreibung

Zur Bestimmung der Atmungswärme und der Atmungsverluste unter praxisnahen Bedingungen wurden CO_2 -Messungen an Kaltlufttrocknern vorgenommen. Dazu wurde die CO_2 -Konzentration der Luft am Trocknerein- und -austritt mit einem Infrarot-Gasanalytator URAS 2 T (Fa. Hartmann u. Braun) gemessen und der Konzentrationsunterschied der Berechnung von Atmungswärme und Atmungsverlust zugrunde gelegt. Der Versuchsaufbau ist in **Bild 4** schematisch dargestellt. Insgesamt stehen 4 Kaltlufttrockner mit einer Füllhöhe von 2 m und einem Durchmesser von 0,6 m zur Verfügung. An den Behälterwänden sind im Abstand von 0,2 m Öffnungen für die Probenahme angebracht. Um ähnliche Verhältnisse zu simulieren, wie sie in einem Behälter mit großem Durchmesser auftreten, sind die Außenwände der Trocknungsbehälter wärmeisoliert. Die Außenluft wird mit einem Radialgebläse angesaugt und durch die Verdichtung im Gebläse um 4 bis 8 °C erwärmt. Der Luftdurchsatz wird mit einer in die Meßleitung eingebauten Normblende gemessen und durch einen Schieber auf den gewünschten Wert eingestellt.

Für die Messung der relativen Feuchte und der Temperatur von Außenluft, Trocknungsluft und Abluft werden LiCl-Fühler bzw. NiCr-Ni Thermolemente verwendet. Die Meßwerte der Luftzustände werden in analoger Form mit einem Kompensationsdrucker registriert.

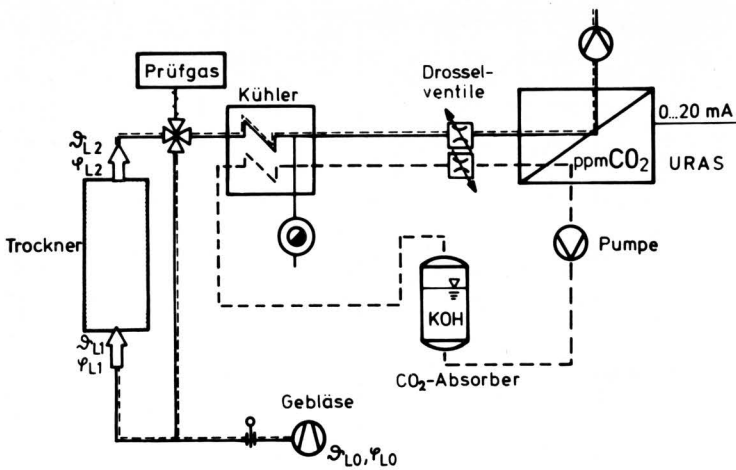


Bild 4. Schema der Versuchseinrichtung zur Bestimmung von Atmungswärme und Atmungsverlusten bei der Kaltlufttrocknung.

4.2 Versuchsergebnisse

Die Untersuchungen wurden sowohl mit Mais, der in einem Gleichstromtrockner ohne Kühlzone mit hoher Lufttemperatur ($\vartheta_L = 200\text{ °C}$) vorgetrocknet worden war, als auch mit ertefeuchtem Mais durchgeführt. Bei den Versuchen im Jahre 1977 wurde in drei Fällen das Versuchsgut pro g Trockensubstanz mit ca. $5 \cdot 10^3$ Konidien (asexuellen Sporen) von Schimmelpilzen aus den Gattungen *Aspergillus*, *Penicillium* und *Fusarium* beimpft, um zu prüfen, ob sich dadurch das biologische Verhalten der Maisschüttung verändert [22].

Die Versuchsdaten und -ergebnisse sind in **Tafel 1** zusammengestellt. Das mit hohen Lufttemperaturen vorgetrocknete Gut weist, ebenso wie im Laborversuch, eine wesentlich geringere Atmungsintensität auf. Die während der Trocknungszeit produzierte Atmungswärme und der Trockensubstanzverlust sind bei der Kaltlufttrocknung mit vorgetrocknetem Mais um 1 bis 2 Zehnerpotenzen niedriger als bei den Versuchen mit ertefrischem Gut.

Die Ursache für die verstärkte Atmungsintensität des ertefrischen Gutes dürfte außer in der verstärkten Kornatmung auch in der starken Vermehrung der Mikroorganismen zu suchen sein. Wie **Tafel 1** weiter zeigt, nimmt der Besatz mit Bakterien, Hefen und Schimmelpilzen während der Kaltlufttrocknung des ertefrischen Gutes ganz erheblich zu, während er beim vorgetrockneten Gut nur unwesentlich zunimmt bzw. sogar abfällt. Der die Atmungsintensität reduzierende Einfluß der Vortrocknung ist dabei nicht nur auf die Verminderung der Kornfeuchte, sondern insbesondere auch auf die sterilisierende Wirkung zurückzuführen [21]. Die zusätzliche Beimpfung des Versuchsgutes führte zu keiner eindeutigen Beeinflussung der Atmungsintensität.

Bild 5 gibt die produzierte Atmungswärme in Abhängigkeit von der Trocknungszeit für die Kaltlufttrocknungsversuche mit naturfeuchtem und vorgetrocknetem Mais wieder. Aus **Bild 5** geht deutlich hervor, daß die Atmungsintensität des vorgetrockneten Gutes wesentlich geringer als die des naturfeuchten ist und daß die Atmungsintensität mit zunehmender Verweilzeit im Trockner immer geringer wird, was sich mit der abnehmenden Feuchte des Gutes erklären läßt. Die annähernd periodischen Schwankungen im Kurvenverlauf sind auf die Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht zurückzuführen.

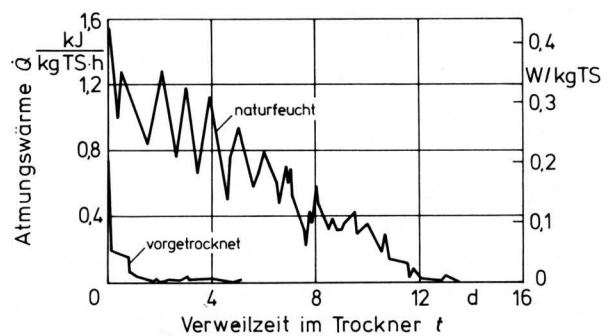


Bild 5. Wärmestrom infolge Atmung, bezogen auf die Trockensubstanz des Gutes, in Abhängigkeit von der Trocknungszeit für naturfeuchten Mais ($U_1 = 35,9\%$; $v_L = 0,15\text{ m/s}$) und für mit hoher Lufttemperatur vorgetrockneten Mais ($U_2^* = 24,3\%$; $v_L = 0,05\text{ m/s}$).

Gutzustand	Gutfeuchte Ernte n. Trocknung		Trocknungsluft			Trocknungszeit t d	Atmung			Änderung der Keimzahl ²⁾ bezogen auf 1 g TS		
	U_1 %	U_2 %	v_L m/s	ϑ_{L1} °C	φ_{L1} %		m_{CO_2} g/kgTS	Q kJ/kgTS	TS-Verlust %	Bakterien	Hefen	Schimmelpilze
ertefrisch	35,9	10,2	0,15	18	40	15	20,063	214,453	1,30	$+ 1,3 \cdot 10^8$	$+ 2,54 \cdot 10^6$	$+ 1,52 \cdot 10^6$
ertefrisch ¹⁾	39,0	12,2	0,10	13	40	19,5	13,798	147,486	0,89	$+ 6,0 \cdot 10^9$	$+ 1,12 \cdot 10^6$	$+ 2,72 \cdot 10^5$
ertefrisch	34,9	20,5	0,05	14,5	45	(13)	22,388	239,301	1,45	$+ 4,4 \cdot 10^8$	$+ 6,4 \cdot 10^5$	$+ 5,7 \cdot 10^5$
vorgetrockn. auf $U_2^* = 24,3\%$	36,7	9,4	0,05	17,5	29	16	0,545	5,821	0,034	$+ 1,5 \cdot 10^4$	$+ 3,18 \cdot 10^3$	$+ 1,46 \cdot 10^2$
vorgetrockn. ¹⁾ auf $U_2^* = 22,5\%$	39,0	9,9	0,10	14,3	42	13,5	0,406	4,339	0,026	$+ 2,0 \cdot 10^3$	+ 1	$- 3,46 \cdot 10^3$
vorgetrockn. auf $U_2^* = 23,6\%$	33,4	9,5	0,10	17,5	34	9	0,235	2,508	0,015	- 905	- 88	- 163
vorgetrockn. ¹⁾ auf $U_2^* = 25,1\%$	36,1	11,1	0,125	8,7	36	13,5	0,198	2,121	0,013	$- 2,1 \cdot 10^3$	+ 170	$- 5,22 \cdot 10^3$
vorgetrockn. auf $U_2^* = 19,7\%$	33,4	11,1	0,10	17,5	35	7	0,122	1,302	0,008	$- 1,1 \cdot 10^3$	+ 15	+ 265

¹⁾ pro g Trockenmasse mit ca. $5 \cdot 10^3$ Konidien mykotoxinbildender Schimmelpilze beimpft ²⁾ Mittelwerte über die gesamte Behälterhöhe

Tafel 1. Versuchsdaten und Ergebnisse der Messungen bei der Kaltlufttrocknung.

5. Bedeutung der Meßergebnisse für Trocknung und Lagerung

Zwischen Ernte und thermischer Konservierung wird der Körnermais bei unterschiedlichen Feuchtegehalten und Temperaturen zwischengelagert, bevor er auf den zur sicheren Lagerung notwendigen Endfeuchtegehalt herabgetrocknet werden kann. Besonders kritisch sind Lagervorgänge von erntefrischem Gut, beispielsweise bei Wartezeiten vor der Konservierung, weil dann die Atmungsintensität und die Mikroorganismenaktivität besonders groß sind. Aber auch während der Trocknung bzw. der Kühlung und der anschließenden Lagerung treten Trockensubstanzverluste auf, **Tafel 2**, die unter Umständen die Lagerzeit begrenzen können, wenn bestimmte Verluste nicht überschritten werden dürfen. Andererseits wird die Lagerzeit auch durch Verderb des Gutes aufgrund von Mikroorganismenaktivität begrenzt.

Temperatur ϑ °C	Feuchtegehalt U %						
	14	17	20	22	25	30	35
5	0,07	0,10	0,13	0,20	0,31	0,63	1,27
10	0,08	0,13	0,15	0,30	0,48	1,02	2,76
20	0,09	0,22	0,37	0,59	1,29	3,41	5,20

Tafel 2. Berechnete monatliche Trockensubstanzverluste in Prozent für unbeschädigte Maiskörner in Abhängigkeit von Feuchtegehalt und Lagertemperaturen.

Entscheidend für die Festlegung einer Schädigungsgrenze ist der spätere Verwendungszweck des Maises. Für eine technologische Verwertung müssen strengere Maßstäbe angewandt werden als für Mais, der für die tierische Ernährung Verwendung findet. *Steele, Saul und Hukill* [7] haben für Futtermais – der in der Bundesrepublik Deutschland bislang mit 95 % noch den größten Anteil darstellt – ohne Beachtung der Mikroorganismenaktivität eine Schädigung des Gutes definiert, wenn 0,5 % der Ausgangstrockensubstanz veratmet sind. Auf der Grundlage dieses Kriteriums (0,5 % Trockensubstanzverlust) soll mit den eigenen experimentell ermittelten Werten die zulässige Lagerzeit bei verschiedener Gutfeuchte und Lagertemperatur berechnet werden. Das Ergebnis ist in **Bild 6 und 7** dargestellt.

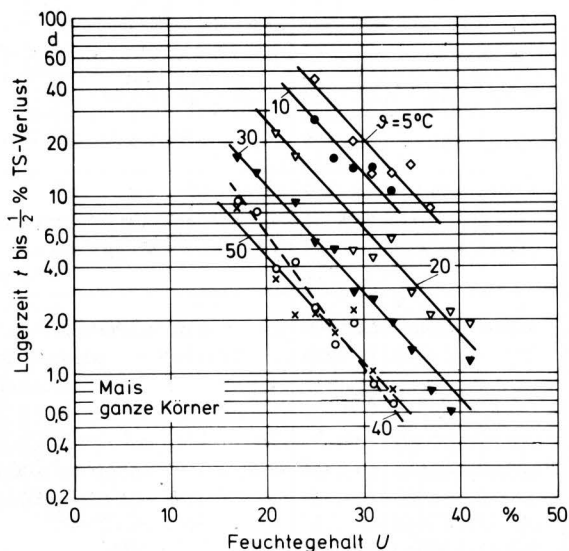


Bild 6. Berechnete Lagerzeit von Körnermais bis zum Verlust von 0,5 % Trockensubstanz in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt für verschiedene Temperaturen (unbeschädigte Körner, Mittelwerte der Erntejahre 1976 und 1977).

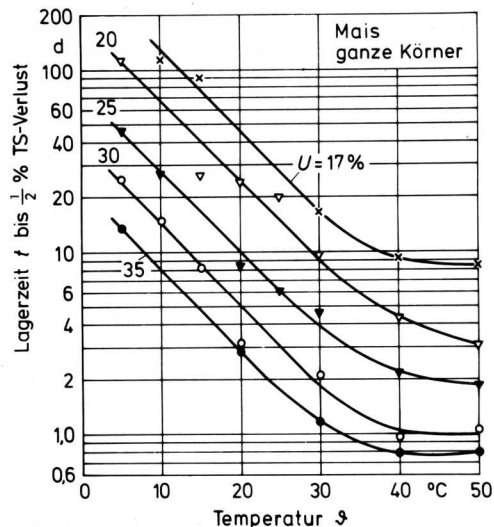


Bild 7. Berechnete Lagerzeit von Körnermais bis zum Verlust von 0,5 % Trockensubstanz in Abhängigkeit von der Temperatur für verschiedene Feuchtegehalte (unbeschädigte Körner, Mittelwerte der Erntejahre 1976 und 1977).

Aufgrund der exponentiellen Zusammenhänge zwischen Atmungsintensität einerseits und den Einflußgrößen Feuchtegehalt und Temperatur andererseits haben auch die Grenzkurven für die Lagerzeit in Abhängigkeit von diesen beiden Größen exponentiellen Charakter. Die dargestellten Werte besitzen nur Gültigkeit für unbeschädigte Körner ohne Beimengungen. Mit hohen Lufttemperaturen getrocknetes Gut kann gegenüber kaltluftgetrocknetem Gut länger gelagert werden. Sind in der Charge größere Anteile an beschädigten Körnern und Beimengungen vorhanden, so führt dies zu einer geringeren Lagerzeit.

Bei einer 3fachen Atmungsintensität der beschädigten Körner und einer 5fachen Atmungsintensität der Beimengungen gegenüber den unbeschädigten Körnern ergibt sich in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Haufwerks bis zum Verlust von 0,5 % der Ausgangstrockensubstanz eine Reduzierung der Lagerzeit, deren Werte in **Tafel 3** aufgeführt sind.

Es muß hier ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die maximal zulässige Lagerzeit auch davon abhängt, ob und mit welcher Geschwindigkeit sich Mikroorganismen entwickeln. Eine Beurteilung des Pilzwachstums kann sich dabei auf keinen Fall nur auf die Beurteilung des äußerlich sichtbaren Schimmelbefalls stützen, da sich – wie oben schon erwähnt – Pilzmyzel auch im Innern der Körner entwickeln kann. Diese Beurteilung erfordert neben der Bestimmung der Pilzkeimzahl auch die Bestimmung der Infektionsrate oder des Ergosterin- oder Chitingehaltes [23]. Nach Möglichkeit sollte auch der Gehalt an Mykotoxinen bestimmt werden.

Als Beispiel hierfür sei die Zwischenlagerung von Körnermais erwähnt. Wurde erntefrischer Körnermais mit einem Feuchtegehalt von 40 % bei 3–5 °C im Haufwerk gelagert, so nahm schon innerhalb von 3–4 Tagen der Besatz mit aeroben Bakterien, Milchsäurebakterien und Hefen sehr stark zu, und nach 3 Tagen war auch schon das Fusarien-Toxin Zearalenon nachzuweisen [24]. Schon nach dieser kurzen Lagerdauer muß deshalb von einem Verderb gesprochen werden. Eine 0,5 %ige Abnahme der Trockensubstanz ist dagegen bei dieser Kornfeuchte und Temperatur erst nach 5 Tagen erreicht (Bild 6 und 7). Ein unzulässig hoher Anstieg des Mikroorganismenbesatzes während der Lagerung von erntefrischem Körnermais mit einem Feuchtegehalt von 35–39 % kann auch durch Belüftung nicht verhindert werden (Tafel 1) [25]. Der Anstieg der Keimzahl erfolgt bei den Bakterien innerhalb von 2 Tagen [21], auch hier kann also die ermittelte Lagerzeit für 0,5 % TS-Verlust von 5–7 Tagen nach Bild 6 und 7 nicht ausgenutzt werden (Lagertemperatur: 10–15 °C). Die Beobachtungen von *Lengauer* [24] zeigen sehr deutlich, daß ein schneller Verderb von

Gutzusammensetzung, Massenanteil in % unbeschädigte Körner	100	99	98	96,5	95	93,5	92	89,5	86	80,5	75
beschädigte Körner		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10	15	20
Beimengungen		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Reduzierung der Lagerzeit gegenüber unbeschädigten Körnern in %	0	2,9	5,7	9,1	12,3	15,3	18,0	21,9	26,5	32,4	37,5

Tafel 3. Reduzieren der Lagerzeit bis zum Verlust von 0,5 % der Ausgangstrockensubstanz bei unterschiedlicher Zusammensetzung des Gutes.

Körnermais mit hohem Feuchtegehalt auch dann eintreten kann, wenn das nicht belüftete Haufwerk bei 3–5 °C gelagert wird. Will man einen Verderb durch Kühlagerung dauerhaft verhindern, so müssen Temperaturen eingehalten werden, die beträchtlich unter dem Gefrierpunkt liegen. Es gibt Pilze, die noch bei –5 bis –8 °C wachsen, auch Mykotoxine können bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt gebildet werden [26 bis 28]. Bei einer Lagertemperatur von +1 °C war in Körnermais mit einem Feuchtegehalt von 25 % nach 26 Tagen Penicillinsäure nachzuweisen [28], eine 0,5 %ige Trockensubstanzabnahme wird unter diesen Bedingungen erst nach 60–70 Tagen erreicht (Bild 6).

Wie diese Untersuchungen zeigen, muß die maximal zulässige Lagerdauer wegen der mikrobiologischen Vorgänge in bestimmten Fällen kürzer angesetzt werden als in den Bildern 6 und 7 für 0,5 % TS-Verlust angegeben.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden Atmungswärme und Atmungsverluste für die Temperatur- und Feuchtigkeitsbereiche und Zeitspannen ermittelt, die bei der Kaltlufttrocknung, dem Trocknungsverfahren Dryeration, der Körnerkühlung und der Lagerung auftreten. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß in dem bei Mais vorliegenden Feuchtebereich die Atmungswärme mit zunehmendem Feuchtegehalt progressiv ansteigt. In Abhängigkeit von der Temperatur folgen die Werte für die Atmungswärme zunächst bis zu einer Temperatur von ca. 35 °C einer e-Funktion, oberhalb 35 °C steigen die Werte dann weiter degressiv bis zu einem Maximum an und sinken dann ab, um bei extremer thermischer Belastung null zu werden. Neben der Trocknungstemperatur kommt dem Gutzustand entscheidende Bedeutung zu. So besitzen bei hoher Lufttemperatur getrocknete Maiskörner eine wesentlich geringere Atmungsintensität als bei niedrigen Lufttemperaturen getrocknete.

Beschädigte Körner und Beimengungen (Spindel-, Blatt- und Stengelteile) weisen ein Vielfaches der Atmungsintensität der unbeschädigten Körner auf. Die bei der Kaltlufttrocknung von Mais produzierte Atmungswärme wurde um mehrere Zehnerpotenzen verringert, wenn die Körner vor der Belüftung bei hoher Temperatur ($\vartheta_L = 200$ °C) auf einen Feuchtegehalt von 20–24 % vorgetrocknet wurden. Dies wird u.a. darauf zurückgeführt, daß die Keimzahl der aeroben Bakterien, Hefen und Schimmelpilze bei der Belüftung der vorgetrockneten Körner ab- oder nur wenig zunahm, während sie bei der Belüftung der erntefrischen Körner um 5 bis 9 Zehnerpotenzen anstieg.

Es wurde versucht, die Lagerzeit nach einem aus dem Schrifttum bekannten Kriterium zu bestimmen, bei dem die Zeit bis zum Verlust von 0,5 % Trockensubstanz angegeben wird. Die so ermittelten Lagerzeiten sind jedoch höher als die bisher aufgrund mikrobiologischer Untersuchungen festgelegten maximalen Lagerzeiten. Für eine endgültige Aussage sind weitere mikrobiologische Untersuchungen notwendig.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] Scherer, R.: Die Ermittlung thermophysikalischer Eigenschaften von Körnerfrüchten, dargestellt am Beispiel von Mais, und die Bedeutung dieser Größen für die thermische Konservierung und Lagerung. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft, Darmstadt. Heft 38, 1979. Im Selbstverlag des Verfassers, Lehrstuhl für Grundlagen der Landtechnik, Universität Hohenheim.
- [2] Zeleny, L.: Chemical, physical and nutritive changes during storage. In: Storage of cereal grains and their products. (Hrsg.: Anderson, J.A. u. A.W. Alcock). Amer. Ass. Cereal Chem., St. Paul, Minn. 1954.
- [3] Milner, M. u. W.F. Geddes: Respiration and heating. In: Storage and cereal grains and their products. (Hrsg.: Anderson, J.A. u. A.W. Alcock). Amer. Ass. Cereal Chem., St. Paul, Minn. 1954.
- [4] Scholz, B.: Atmungsverluste bei Weizen in Abhängigkeit von Temperatur, Lagerzeit und Wassergehalt des Getreides. Diss. Univ. Bonn 1960.
- [5] Bolling, H.: Über Substanzverluste bei der gewerblichen Trocknung von Brotgetreide. Diss. Univ. Braunschweig 1967.
- [6] Haile, D.G. u. J.W. Sorenson jr.: Effect of respiration heat of sorghum grain on design of conditioned-air storage systems. Trans. ASAE Bd. 11 (1968) Nr. 3, S. 335/38.
- [7] Steele, J.L., R.A. Saul u. W.V. Hukill: Deterioration of shelled corn as measured by carbon dioxide production. Trans. ASAE Bd. 12 (1969) Nr. 5, S. 685/89.
- [8] ● Golik, M.G.: Lagerung und Verarbeitung der Maiskolben und der Körner (Orig. russ.). Moskau: Verlag Kolos 1968.
- [9] ● Hoffmann, J.F. u. K. Mohs: Das Getreidekorn. Bd. 1: Die Behandlung und Bewertung des Getreides. Berlin: Paul Parey 1931.
- [10] Heidt, H. u. H. Bolling: Körnerkühlung. Die Mühle Bd. 102 (1965) S. 159/62; 181/83; 196/97.
- [11] Bailey, C.H. u. A.M. Gurjar: Respiration of stored wheat. J. Agric. Res. (Washington) Bd. 12 (1918) Nr. 11, S. 685/713.
- [12] Kolkwitz, R.: Über die Atmung ruhender Samen. Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. 19 (1901) S. 285/87.
- [13] Olafson, J.H., C.M. Christensen u. W.F. Geddes: Influence of moisture content, commercial grade, and maturity on the respiration and chemical deterioration of corn. Cereal Chem. Bd. 31 (1954) Juli, S. 333/40.
- [14] Ukulov, V. u. A. Izotova: Der Einfluß von Feuchtigkeit und Getreidetemperatur auf die Wärmeabgabe von Getreide (Orig. russ.). Mukumol'neolevatornaja i Kombikormovaja Prom. (1974) Nr. 7, S. 32. Die Mühle + Mischfüttertechnik Bd. 112 (1975) Nr. 42, S. 552/53.

- [15] *Jouin, C.*: Grundlegende Kalkulationen für die Belüftung des Getreides. Getreide und Mehl Bd. 14 (1964) Nr. 6, S. 64/70.
- [16] • *Kleinzeller, A. et al.*: Manometrische Methoden. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1965.
- [17] *Christensen, C.M. u. H.H. Kaufmann*: Microflora. In: Storage of cereal grains and their products. (Hrsg.: *Christensen, C.M.*) S. 158/92. Amer. Ass. Cereal Chem., St. Paul, Minn. 1974.
- [18] *Schultheiss, J. u. G. Spicher*: Die Beeinflussung des Schimmelwachstums auf Brot und Backwaren durch verfahrenstechnische und stoffliche Maßnahmen. Getreide, Mehl, Brot Bd. 28 (1974) Nr. 11, S. 288/96.
- [19] *Wallace, H.A.H.*: Fungi and other organisms associated with stored grain. In: Grain storage — part of a system; (Hrsg.: *R.H. Sinha u. W.F. Muir*). S. 71/99. The Ari Publ. Comp., Inc., Westport, Conn. 1973.
- [20] *Cotton, R.T. u. D.A. Wilburn*: Insects. In: Storage of cereal grains and their products. (Hrsg.: *C.M. Christensen*). S. 193/231. Amer. Ass. Cereal Chem., St. Paul, Minn. 1974.
- [21] *Kuppinger, H., H.-M. Müller u. W. Mühlbauer*: Die Belüftungstrocknung von erntefrischem und vorgetrocknetem Körnermais unter thermodynamischem und mikrobiologischem Aspekt. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 119/28.
- [22] *Thaler, M., U. July, H. Kuppinger, H.-M. Müller u. R. Scherer*: Die Belüftungstrocknung von Körnermais unter mykotoxikologischem Aspekt. Getreide, Mehl, Brot Bd. 33 (1979) Nr. 1, S. 8/11.
- [23] *Müller, H.-M. u. M. Thaler*: Mikrobiologische Probleme der Futtermitteluntersuchung. Übers. Tierernähr. Bd. 7 (1979) S. 149/57.
- [24] *Lengauer, M.*: Mikrobielle Prozesse in frisch geerntetem Körnermais. In: Sitzungsbericht der Arbeitstagung der Internationalen Arbeitsgemeinschaft für Futtermitteluntersuchung, S. 54/68, 1975.
- [25] *Müller, H.-M., U. July, K. Keitel, H. Kuppinger, R. Scherer u. M. Thaler*: Die Belüftungstrocknung von Körnermais und Weizen unter mikrobiologischem Aspekt. Getreide, Mehl, Brot Bd. 33 (1979) Nr. 1, S. 3/8.
- [26] *Bewer, H.E.*: Getreidekonservierung mit kalter Nachtluft. Berichte über Landtechnik, Heft 47. Frankfurt: KTL, 1957.
- [27] *Burrell, N.J.*: Chilling. In: Storage of cereal grains and their products. (Hrsg.: *C.M. Christensen*). S. 420/53. Amer. Ass. Cereal Chem., Inc., St. Paul, Minn. 1974.
- [28] *Kurtzman, C.P. u. A. Ciegler*: Mycotoxin from a blue-eye mold of corn. Appl. Microbiol. Bd. 20 (1970) Nr. 2, S. 204/207.

Ermittlung des Futterwertes unterschiedlich konservierter Körnermaisernteformen in der Schweinemast anhand von Rattenversuchen

Von Wolfgang Klein und Dieter Albrecht,
Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 — Landtechnik "Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 633.15:636.085.2

Zur Beurteilung des Einflusses verschiedener Konservierungsverfahren von Maiskörnern, Corn-Cob-Mix und Lieschkolbenschrot auf den Futterwert für Schweine (angegeben als Gehalt an "Gesamtnährstoff"¹⁾) ist die Kenntnis der Verdaulichkeit der einzelnen Rohnährstoffe erforderlich. In dieser Arbeit wird gezeigt, daß der bei der Fütterung von Schweinen anzusetzende Gehalt an Gesamtnährstoff mit hoher Genauigkeit aus den Ergebnissen von Verdauungsversuchen mit Ratten abgeleitet werden kann.

Unter Berücksichtigung durchschnittlicher Ernteerträge und Verluste sind die flächenbezogenen Erträge an Gesamtnährstoff (dt/ha) bei verschiedenen Maisernteverfahren

und bei unterschiedlicher Konservierung des Erntegutes berechnet worden.

1. Aufgabenstellung

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Feucht- gegenüber den Trockenkonservierungsverfahren werden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 140 (Landtechnik) Vergleichsversuche durchgeführt, um den Einfluß verschiedener Konservierungsverfahren von Ährengetreide und von unterschiedlichen Ernteformen von Körnermais auf die ernährungsphysiologische Qualität für die Schweinefütterung zu ermitteln.

In thematisch benachbarten Arbeiten wurden bisher der optimale Einsatz der verschiedenen Erntematerialien für die Schweinefütterung ermittelt [1] und die Ökonomik der gesamten Verfahrensketten verglichen [2]. Der direkte Einfluß des Konservierungsverfahrens ist dagegen noch unzureichend geklärt.

Im folgenden wird eine Methode vorgeschlagen, mit deren Hilfe konservierungsbedingte Unterschiede im Futterwert verschiedener Körnermaisernteformen, die in der Schweineernährung eingesetzt werden sollen, aus Rattenversuchen abgeleitet werden können.

Damit soll sowohl ein methodischer Beitrag zur Reduzierung des Aufwands für Fütterungsversuche als auch eine praxisrelevante Einschätzung des Konservierungserfolges unterschiedlicher Futtermittel erreicht werden.

¹⁾ Gesamtnährstoff ist ein Maß für den energetischen Wert eines Futtermittels. Ausgehend von den Gehalten an Rohnährstoffen (Rohfaser, Rohprotein, Rohfett und stickstofffreie Extraktstoffe nach der Weender Analyse) wird unter Berücksichtigung der Verdaulichkeit der einzelnen Rohnährstoffe der Gehalt an Gesamtnährstoff berechnet: Gesamtnährstoff ist die Summe der verdaulichen Nährstoffe, wobei der Anteil des verdaulichen Rohfettes mit 2,3 multipliziert wird.

*) *Dipl. agr. biol. W. Klein und Dipl. agr. oec. D. Albrecht sind wissenschaftliche Angestellte im Sonderforschungsbereich 140 (Landtechnik) an der Universität Hohenheim.*