

Die zulässige Einwirkungszeit verschiedener Korntemperaturen bei der Trocknung von Mais für die tierische Ernährung

Von Werner Mühlbauer und Walter Christ, Hohenheim*)

DK 633.15:633.004.12:664.8.047

Die zulässige Korntemperatur spielt eine wichtige Rolle bei der Auslegung von Körnermaistrocknungsanlagen.

In der vorliegenden Arbeit wird die zulässige Korntemperatur bei der Trocknung von Körnermais, der für die tierische Ernährung verwendet wird, ermittelt. Dabei wird insbesondere der Einfluß der Trocknungszeit auf die zulässige Korntemperatur untersucht. Als Qualitätskriterien für die Ermittlung der Schädigungsgrenze werden der Gehalt an den essentiellen Aminosäuren Lysin, Cystin und Methionin, sowie der MCL-Wert herangezogen.

1. Einleitung

Der in der Bundesrepublik Deutschland angebaute Körnermais wird in erster Linie als Futtermittel verwendet. Für die industrielle Verarbeitung in der Nahrungsmittelindustrie zur Herstellung von Maismehl, Maisgries und Maisflocken sind große einheitliche Partien über 1000 t erforderlich, die derzeit bei uns noch nicht erzeugt werden können [1]. Während über die bei der Trocknung von Saatmais zulässige Korntemperatur verschiedene Arbeiten vorliegen [2, 3], herrscht über die bei der Trocknung von Futtermais zulässige Korntemperatur weitgehend Unklarheit. Insbesondere ist über den Zusammenhang zwischen Korntemperatur, Trocknungszeit und dem Auftreten von Schädigungen bislang wenig bekannt. Dies soll im folgenden untersucht werden.

2. Qualitätskriterium

Die in der Futtermittelindustrie für die Beurteilung der Maisqualität herangezogenen Kriterien, wie beispielsweise der Anteil von Bruchkorn, verdorbenen Körnern und Schwarzbesatz, reichen für die Beurteilung von thermisch behandeltem Körnermais nicht aus. Hier kommen als Maßstab vor allem Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit in Frage.

Körnermais wird bei der Futtermittelherstellung hauptsächlich zur Kohlehydratversorgung, als "Stärketräger", eingesetzt. Eine Schädigung der Stärke durch die Trocknung sollte daher vermieden werden. Allerdings ist die Stärke von allen im Maiskorn enthaltenen

Die trocknungstechnischen Untersuchungen wurden am Lehrstuhl für Landtechnik (Prof. Dr.-Ing. G. Segler), die Nährstoffuntersuchungen von der Abteilung für Milchwissenschaften (Prof. Dr. rer. nat. W. Christ) durchgeführt. Die benötigten Mittel wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellt.

Dipl.-Ing. Werner Mühlbauer war wissenschaftlicher Angestellter am Lehrstuhl für Landtechnik (Prof. Dr.-Ing. G. Segler) und ist seit Januar 1974 Oberingenieur bei der Fachgruppe Agrartechnik der Universität Hohenheim. Prof. Dr. rer. nat. Walter Christ ist Leiter der Abteilung für Milchwissenschaften der Universität Hohenheim.

Nährstoffen am wenigsten temperaturempfindlich. So kann von einer Schädigung der Stärke erst bei beginnender Verkohlung gesprochen werden. Die bei Korntemperaturen oberhalb von 65 °C eintretende Verkleisterung der Stärke beeinträchtigt den Futterwert nicht, sondern führt meist zu einer Verbesserung der Verdaulichkeit der Stärke [4]. Wegen der Eiweißverknappung und der gestiegenen Preise für Eiweißfuttermittel sollte auch eine Schädigung der Proteine durch die Trocknung auf jeden Fall vermieden werden.

Der Rohproteingehalt, wie er nach *Kjeldahl* bestimmt wird, kann für den Nachweis einer Proteinschädigung durch die Trocknung nicht herangezogen werden, da hier sowohl der Stickstoffgehalt der Aminosäuren als auch anderer stickstoffhaltiger Stoffe berücksichtigt wird. Ein besseres Kriterium für den nutritiven Wert eines Proteins ist der Reinproteingehalt. Der Reinproteingehalt erfaßt die Summe der Aminosäuren, aus denen das Protein aufgebaut ist. Die limitierende Aminosäure entscheidet darüber, welche Anteile der übrigen, reichlicher vorhandenen Aminosäuren in der körpereigenen Proteinsynthese verwendet werden. Bei Mais ist der Proteinwert in erster Linie durch den Gehalt an Lysin begrenzt [5 bis 7]. Aber auch Methionin und Cystin sind nicht in ausreichendem Maße vorhanden. Die Analysenwerte allein sagen aber noch nichts über die Verfügbarkeit der Aminosäuren aus. Hierüber gibt die biologische Wertigkeit eines Proteins Auskunft. Nach *Mosse* [8] kann als Kennwert für die biologische Wertigkeit der Proteine von Getreide der MCL-Wert, der die Summe aus Methionin-, Cystin- und Lysingehalt angibt, verwendet werden.

Bei den im folgenden beschriebenen Versuchen zur Bestimmung der zulässigen Korntemperatur in Abhängigkeit von der Trocknungszeit wurde der Lysin-, Methionin- und Cystingehalt als Kriterium für die Beurteilung der Maisqualität herangezogen. Diese Auswahl scheint sinnvoll, da Lysin, Methionin und Cystin die temperaturempfindlichsten Aminosäuren sind und außerdem zwischen dem Lysingehalt des Maises und dem Wachstum von Versuchstieren eine enge Korrelation besteht [3]. Für die Beurteilung der biologischen Wertigkeit wurde der MCL-Wert herangezogen.

3. Versuchsdurchführung

Die Ermittlung der zulässigen Korntemperatur erfolgte an Einzelkörnern, da hier der zeitliche Verlauf der Korntemperatur am einfachsten gemessen werden kann. Hierzu wurden die Maiskörner in einen Luftstrom gebracht, dessen Temperatur und Geschwindigkeit während des Versuchs konstant gehalten werden kann. Für die Trocknung wurden Lufttemperaturen im Bereich zwischen 80 und 200 °C gewählt. Die Luftgeschwindigkeit betrug 1 m/s. Die Einzelkorn-trocknungsanlage wurde bereits an anderer Stelle [9] beschrieben. Die Versuche wurden in den Jahren 1971 und 1972 durchgeführt. Als Versuchsgut diente Mais der mittelfrühen Sorte Velox.

Bei Versuchsbeginn wurden die Körner auf einem Drahtmaschensieb in den Luftstrom eingebracht und dort bei konstanter Lufttemperatur und Trocknungszeiten zwischen 1 und 1200 Minuten getrocknet. Während der Trocknung der Körner erfolgte eine fort-

laufende Messung und Registrierung der Korntemperatur und des Feuchtegehaltes der Körner. Nach Ablauf der gewünschten Trocknungszeit wurden die Körner aus dem Luftstrom herausgenommen und bei einer Temperatur von 20 °C bis zum lagerfähigen Zustand getrocknet.

Von sämtlichen Proben wurden der Rohprotein- und der Lysingehalt bestimmt. Von ausgewählten Proben wurde zusätzlich der Methionin- und der Cystingehalt ermittelt. Die Rohproteinbestimmung erfolgte nach *Kjeldahl*. Der Gehalt an Lysin, Methionin und Cystin wurde säulenchromatographisch mit einem Aminosäureanalyser der Bauart Beckmann bestimmt.

4. Versuchsergebnisse

Für eine grobe Qualitätsbeurteilung wurden die getrockneten Körner zunächst auf farbliche Veränderungen untersucht. In **Bild 1** sind die farblichen Veränderungen der Kornbestandteile in Abhängigkeit von der Temperatur der Trocknungsluft und der Trocknungszeit zusammengestellt.

Lufttemperatur °C	Trocknungszeit t min																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	30	40	50	60	120	180	240	300	360						
80																								○					
100																									○	●	▼	▼	
120																		○	●	●	●	●	●	●	●	●	▼	▼	
140																			○	●	●	●	●	●	●	●	●	▼	▼
160																													
180				○	▼		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	▼

Bild 1. Auftreten farblicher Veränderungen beim Trocknen von Maiskörnern mit unterschiedlichen Lufttemperaturen.

Bräunung von Keimling, hornigem Endosperm, mehligem Endosperm
 leicht (○, ▼, □), mittel (●, ▼, ■), stark (●, ▼, ■)
 Anfangsfeuchtegehalt $U_1 = 26\%$, Sorte Velox,
 Luftgeschwindigkeit $v_L = 1,0\text{ m/s}$

Bei der Trocknung mit Lufttemperaturen unterhalb von 100 °C sind gegenüber der mit 20 °C getrockneten Vergleichsprobe keine farblichen Veränderungen der Körner zu beobachten. Bei höheren Temperaturen tritt eine leichte Bräunung des Keimlings und des hornigen Endosperms auf. Mit zunehmender Trocknungsdauer und Erhöhung der Temperatur wird die Bräunung stärker und geht schließlich in eine Schwarzfärbung mit beginnender Verkohlung der Körner über.

Das mehliges Endosperm behält im Gegensatz zum hornigen Endosperm auch bei Einwirkung hoher Temperaturen seine weiße Farbe. Es liegt nahe zu vermuten, daß die Bräunung von Keimling und hornigem Endosperm durch chemische Reaktionen der Kohlehydrate mit den Proteinen hervorgerufen wird, und daß das mehliges Endosperm wegen seines geringen Proteingehaltes nicht gebräunt wird. Der Beginn der Bräunung der Körner hängt sehr stark von der Lufttemperatur ab, Bild 1. Während bei 100 °C erst nach 3 Stunden Bräunungsreaktionen zu beobachten sind, treten diese bei 180 °C bereits nach 4 Minuten auf.

Den Einfluß der Temperatur der Trocknungsluft auf den Trocknungsvorgang verdeutlichen die **Bilder 2 und 3**. Bild 2 zeigt, daß die Trocknungsgeschwindigkeit sehr stark mit zunehmender Lufttemperatur ansteigt. Beispielsweise sind für die Trocknung von einem Anfangsfeuchtegehalt von $U_1 = 26\%$ auf lagerfähigen Zustand ($U_2 = 14\%$) bei 80 °C 107 Minuten erforderlich, während die gleiche Wassermenge bei 180 °C Lufttemperatur in 7 Minuten

entzogen werden kann. Die Korntemperatur steigt bei Beginn der Trocknung, $0 \leq t \leq 2\text{ min}$, sehr stark an und nähert sich mit fortschreitender Trocknungsdauer der Temperatur der Trocknungsluft, Bild 3

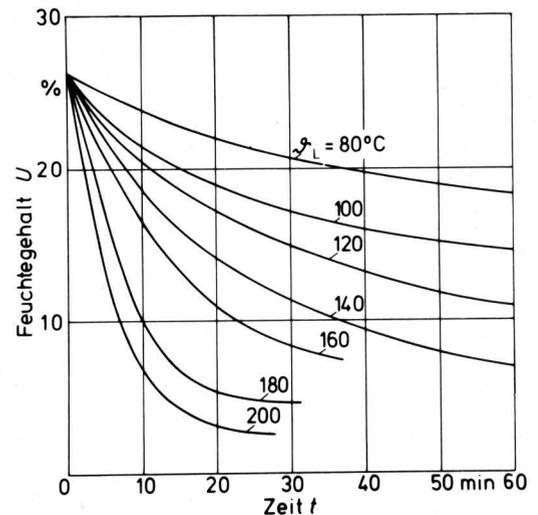


Bild 2. Verlauf des Feuchtegehaltes beim Trocknen von Maiskörnern mit unterschiedlichen Lufttemperaturen.

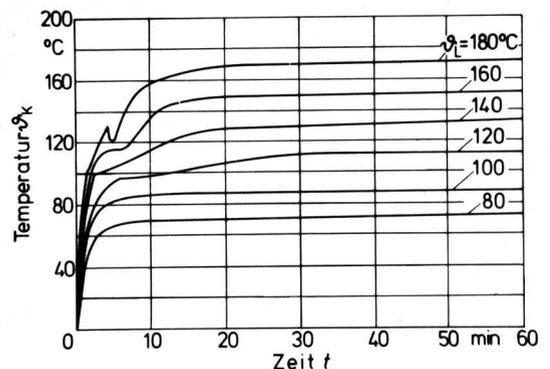


Bild 3. Verlauf der Korntemperaturen beim Trocknen von Maiskörnern mit unterschiedlichen Lufttemperaturen.

Die Veränderung im Gehalt an den Aminosäuren Lysin, Cystin und Methionin als Folge der Trocknung ist in den **Bildern 4 bis 6** dargestellt. Aus Bild 1 und 4 kann entnommen werden, daß dem Beginn der Bräunungsreaktion am Keimling eine Lysinabnahme von ungefähr 15 % entspricht. Weiter zeigen die Bilder 4 bis 6, daß Lysin sehr viel stärker geschädigt wird als Cystin oder Methionin. Dies kann dadurch erklärt werden, daß die Hitzestabilität von Lysin durch die Anwesenheit von Kohlehydraten im Mais Korn herabgesetzt wird, während Cystin und Methionin stabilisiert werden. Die Ursache für die Lysinabnahme ist auf die Maillard-Reaktion zurückzuführen, bei der Lysin mit Kohlehydraten reagiert.

Bei Untersuchungen an reinem Protein, die von *Bjarnson* und *Carpenter* [10] durchgeführt wurden, ergab sich bei einer Temperatur der Trocknungsluft von 115 °C und einer Trocknungsdauer von 27 Stunden eine Lysinabnahme von 3 %. Der Cystinverlust betrug 50 %. Demgegenüber entstand bei der Trocknung von Maiskörnern bei 120 °C bereits nach 5,5 Stunden ein Lysinverlust von 27 %. Auf eine mögliche stabilisierende Wirkung der Kohlehydrate deutet die Abnahme des Cystingehaltes um lediglich 5 % hin.

Wie die in Bild 2 bis 7 dargelegten Versuchsergebnisse zeigen, bringt eine Erhöhung der Lufttemperatur zwar eine Verbesserung der Trocknungsleistung mit sich, dabei werden aber die essentiellen Aminosäuren Lysin, Cystin und Methionin geschädigt.

Inwiefern eine Leistungssteigerung einer Trocknungsanlage durch die Verwendung möglichst hoher Lufttemperaturen auf Kosten der Qualität sinnvoll ist, muß von Fall zu Fall mit Hilfe einer Kostenrechnung entschieden werden. Dabei ist der Gewinn durch die höhere Trocknungsleistung dem Aufwand für eine Ergänzungsfütterung mit Lysinträgern gegenüberzustellen. Ein Ersatz des geschädigten Lysins der Maiskörner durch andere lysinhaltige Futtermittel ist möglich, wie dies Zucker [5] bei Fütterungsversuchen nachweisen konnte.

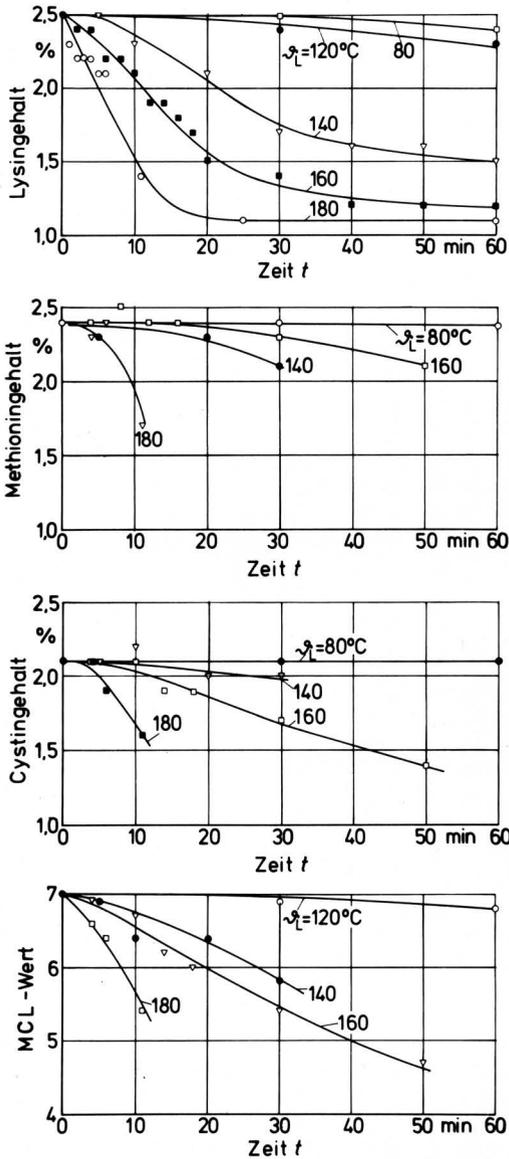


Bild 4 bis 7. Lysin-, Methionin- und Cystingehalt sowie MCL-Wert von Maiskörnern in Abhängigkeit von der Trocknungszeit für verschiedene Temperaturen der Trocknungsluft.

Der Lysin-, Methionin- und Cystingehalt sind als Prozentanteile des Rohproteins angegeben.

Geht man davon aus, daß das Lysin bei der Trocknung nicht verändert werden darf, so kann der Zusammenhang zwischen Korn-temperatur, Zeit und Schädigung des Gutes auf die im folgenden beschriebene Weise festgelegt werden.

Da der Lysingehalt der untersuchten Maissorte um mehr als 10 % schwanken kann und auch die Meßgenauigkeit bei der Lysinbestimmung innerhalb gewisser Grenzen liegt, sind Lysinveränderungen gegenüber der Ausgangsprobe, die unter 10 % liegen, nicht mit Sicherheit als trocknungsbedingte Schäden anzusehen. Entnimmt man aus Bild 4 die Trocknungszeiten, die einer Lysinabnahme von 10 % gegenüber der Ausgangsprobe entsprechen, so

kann in einem Korn-temperatur-Zeit-Diagramm die Schädigungsgrenze eingezeichnet werden, **Bild 8**.

Für alle Korn-temperatur-Zeit-Kurven, die unterhalb der Schädigungslinie verlaufen, ist mit Sicherheit ein Lysinverlust, der größer ist als 10 %, auszuschließen.

Bestimmt man bei einem vorhandenen Trockner den zeitlichen Verlauf der Korn-temperatur, so kann mit Hilfe von Bild 8 darauf geschlossen werden, ob eine Schädigung des Gutes vorliegt oder nicht. Liegt die gemessene Korn-temperatur-Zeit-Kurve weit unterhalb der Schädigungsgrenze, so kann die Lufttemperatur im Trockner solange erhöht werden, bis die Schädigungsgrenze an einer Stelle erreicht wird. Mit der hier beschriebenen Methode ist es möglich, die Leistung einer Trocknungsanlage bis an die Grenze, an der wesentliche Qualitätsminderungen zu befürchten sind, zu erhöhen.

Die in Bild 8 dargestellte Schädigungsgrenze für Futtermais liegt wesentlich höher als die bisher in der Literatur [3, 11] angegebenen Werte. Eine Erhöhung der Temperatur der Trocknungsluft bei der Trocknung von Futtermais ist bei den verschiedenen Trocknungsverfahren durchaus möglich. Über die Entwicklung eines Trocknungsverfahrens, das mit Temperaturen bis 220 °C arbeitet und das auf den hier geschilderten Versuchen aufbaut, wird an anderer Stelle ausführlich berichtet [9].

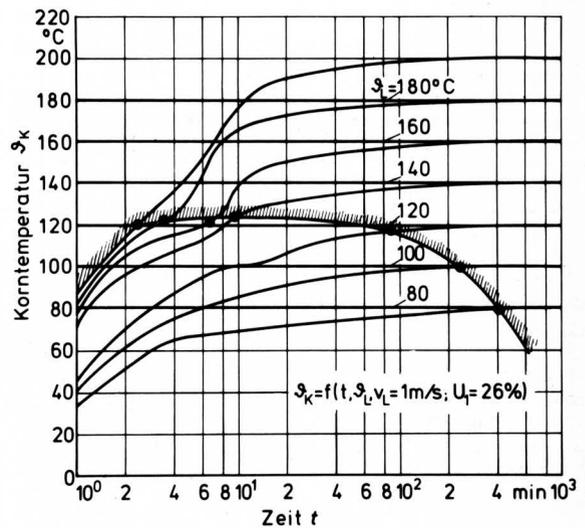


Bild 8. Korn-temperatur in Abhängigkeit von der Trocknungszeit und der Lufttemperatur. Die eingezeichnete Grenze entspricht einer Verminderung des Lysingehaltes um 10 % gegenüber der Vergleichsprobe.

Temperatur der Trocknungsluft °C	Trocknungszeit min	Lysingehalt mg/16 mg N	MCL-Wert mg/16 mg N
80	107	2,4	6,8
120	35	2,4	6,8
140	21	2,0	6,4
160	14	1,8	6,1
180	7	2,1	6,4

Tafel 1. Trocknungszeit, die erforderlich ist, um Maiskörner von einem Anfangsfeuchtegehalt von 26 auf 14 % zu trocknen in Abhängigkeit von der Temperatur der Trocknungsluft.

In **Tafel 1** sind die Trocknungszeiten in Abhängigkeit von der Lufttemperatur zusammengestellt, die erforderlich sind, um Einzelkörner von einem Anfangsfeuchtegehalt von 26 % auf lagerfähigen Zustand von 14 % zu trocknen. Weiter sind die zugehörigen Lysingehalte und MCL-Werte eingetragen. Aus **Tafel 1** ist ersichtlich, daß eine schnelle Trocknung mit hoher Temperatur (180 °C) sich auf die Qualität günstiger auswirkt als eine langsame Trocknung bei niedrigeren Temperaturen (140, 160 °C). In gleicher Weise können Schädigungen und damit die zulässigen Korntemperatur-Einwirkungszeiten auch für Körnermais, der für Saatzwecke oder die menschliche Ernährung verwendet wird, ermittelt werden. In diesem Falle sind anstelle des Lysingehalts die entsprechenden Qualitätskriterien, wie beispielsweise Keimfähigkeit oder Mahlbarkeit, heranzuziehen.

Die Versuche wurden bislang lediglich mit Maiskörnern durchgeführt, die einen Anfangsfeuchtegehalt von 26 % aufwiesen. Da, wie *Munck* [12] und *Sprenger* [3] bei der Untersuchung von Roggen und Mais feststellten, auch der Feuchtegehalt des Gutes einen Einfluß auf die Schädigungsgrenze hat, ist geplant, den Einfluß dieser Größe bei weiteren Versuchen zu ermitteln.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Bolling, H. u. H. Zwingelberg*: Vergleichende Untersuchungen über die Trockenentkeimung und Vermahlung deutscher Maissorten und ausländischer Maisprovenienzen. Die Mühle Bd. 107 (1970) Nr. 47, S. 705/07.
- [2] *Arora, B.K., A.P. Bhatnagar u. A.S.B. Shi*: Critical temperature for drying maize seeds. Paper presented at the X. Annual Convention of Indian Society of Agricultural Engineers. Tamil Nadn. Agric. Univ., 1972.
- [3] *Sprenger, J.J.*: Einige Aspekte der Getreidetrocknungsanlagen. Landwirtschaftliche Veröffentlichung der O.E.E.C. (1953) S. 27/34.
- [4] ● *Schäfer, W. u. L. Altrogge*: Getreidekonditionierung-Getreidetrocknung. Detmold: Schäfer 1960.
- [5] *Zucker, H., H. Erbersdobler u. J. Gropp*: Untersuchungen über lysinreichen Mais. Analyt. Untersuchungen und Fütterungsversuche an Ratten und Wachteln. Z.f.Tierphysiol., Tierernährung, Futtermittelkunde 23 (1968) S. 193/204.
- [6] *Erbersdobler, H., J. Gropp u. H. Zucker*: Beeinflussung der Proteinqualität bei Körnermais durch unterschiedliche Trocknungsbedingungen. Wiss. Zeitschrift Univ. Rostock, Math. Naturwiss. Reihe, 18 (1969) Heft 1/2, S. 145/50.
- [7] *Tanner, H. u. H. Schmidtborn*: Zur quantitativen Bestimmung von Aminosäuren in Futtermitteln und Mischfutterm. Die Mühle Bd. 110 (1973) Nr. 16, S. 249/51.
- [8] *Mosse, J.*: Alcohol-soluble proteins of cereal grains. Inst. National de la recherche Agronomique, Versailles, Frankreich, 1966.
- [9] *Mühlbauer, W.*: Untersuchungen über die Trocknung von Körnermais unter besonderer Berücksichtigung des Gleichstrom-Trocknungsverfahrens. Diss. Univ. Stuttgart, 1974.
- [10] *Bjarnson, J. u. J. Carpenter*: Mechanisms of heat damage in proteins. Journ. of Nutrition Bd. 23 (1969) S. 859 und Bd. 24 (1970) S. 313.
- [11] *Mc Kenzie, B.A.*: Selecting a grain drying method. Cooperative Extension Service. Purdue Univ. Lafayette, Indiana. AE-67 Oktober 1968.
- [12] *Munck, L.*: Nutritional value in cereals. Hereditas 72 (1972).

Untersuchung eines Systems zur Triebachslasterhöhung an einem Ackerschlepper mit Aufsattelpflug

Von Horst Hesse und Rudolf Möller*)

DK 62 - 531:631.372

Mit dem Anwachsen der Schlepperleistung wird es zunehmend schwieriger, die Zugkraft des Schleppers auf dem Boden abzustützen. Eine geeignete Maßnahme zur Erzielung höherer Zugkräfte oder zur Verminderung des Schlupfes ist die Erhöhung der Triebachslast.

Hierzu wurde in der vorliegenden Untersuchung an einem Schlepper mit aufgesattelttem Pflug ein elektrohydraulisch betätigter Zylinder als Oberlenker des Dreipunktgestänges eingebaut. Für die Regelung kamen zwei Systeme zum Einsatz: Einmal wurde der Druck im Arbeitszylinder auf einem vorgewählten Wert konstant gehalten und zum anderen wurde der Druck im Arbeitszylinder so geregelt, daß die Vorderachslast eine für die Lenkung

ausreichende Größe behält. Mit beiden Systemen ergaben sich durch Verringerung des Radschlupfes Verbesserungen in der Energiebilanz bei schweren Zugarbeiten.

1. Einleitung

Die Motorleistung von Ackerschleppern hat in den letzten Jahren zugenommen, ohne daß das Eigengewicht der Schlepper im gleichen Maße gesteigert worden wäre. Da die Zugkraft eines Schleppers wesentlich von der Belastung der Triebachse abhängt, können moderne Schlepper ihre Motorleistung bei normaler Arbeitsgeschwindigkeit auf dem Acker ohne Hilfsmittel nicht auf den Boden übertragen. Ein Weg, eine bessere Leistungsübertragung zu erreichen, ist der teure Vierradantrieb. Man kann aber auch versuchen, durch Erhöhung der Triebachslast bei Hinterradantrieb den auftretenden Radschlupf zu vermindern ohne das Eigengewicht des Schleppers zu erhöhen. Das kann z.B. durch Übertragung eines Teiles des Gewichtes von angebauten oder angehängten Geräten und der an diesen Geräten angreifenden Kräfte geschehen. Bei Anbaupflügen wird der Pflug durch die Regelung fast vollständig getragen und dadurch eine maximale Erhöhung der Triebachslast erreicht.

*) *Dr.-Ing. H. Hesse* ist Leiter der Abteilung < Entwicklung Hydrauliksysteme > der Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Ing. (grad.) *R. Möller* ist Versuchingenieur im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig, in dem die Untersuchung durchgeführt wurde.