

# Änderung der Eigenschaften von Futtermitteln nach dem Pressen<sup>1)</sup>

Dr.-Ing. J. Fiala/Dipl.-Ing. A. Jellnek, Forschungsinstitut für Landtechnik Praha-Řepy, ČSSR

Die Entwicklung der Produktion von gepreßten Futtermitteln geht vom gegenwärtigen Erkenntnisstand der Forschung und von den praktischen Ergebnissen der Landwirtschaftsbetriebe aus. Sie steht in Übereinstimmung mit dem Bedarf an Teilfertig- oder Fertigfutter in der Tierproduktion und hat zum Ziel, eine höhere Effektivität in der Fütterung zu erreichen.

Trockengrobfutter wird unter Berücksichtigung der entstehenden Kosten in der Tierernährung vor allem zur Erhöhung des Trockensubstanzgehalts von Mischrationen und zur Verbesserung der Verdauungsphysiologie verarbeitet.

Die Verwendung von gepreßten Futtermitteln ermöglicht in der Fütterungstechnik einfache Mechanisierungslösungen. Das trifft vor allem auf den Einsatz von Fertigfutter in der Rindermast, aber auch von Teilfertigfutter in der Milchvieh-, Jungrinder- und Kälberhaltung zu.

Die bisherigen Erkenntnisse zeigen, daß bei der Verwendung von Fertigfuttermitteln eine hohe Intensivierung erforderlich ist. Bei Rationen mit Teilfertigfutter kann man sich den örtlichen Bedingungen der Futterbasis anpassen.

Vom Standpunkt der Fütterung aus muß das gepreßte Futter beim Kauen der Tiere leicht zerfallen. Andererseits muß es jedoch bis zum Futtertrog gefördert werden können, ohne daß ein unzulässig hoher Abriebanteil entsteht. Die Abriebfestigkeit von gepreßten Futtermitteln wird nicht nur durch die Größe des Verdichtungsgrades, sondern auch durch die mechanischen Eigenschaften und die Homogenität der

Eintrittsstoffe beeinflusst. Die Höhe des Abriebanteils hängt am meisten von der Art des Förderns und Umschlagens der Futtermittelpreßlinge ab. Das macht sich unmittelbar nach dem Pelletieren, bevor die Pellets abgekühlt sind, besonders bemerkbar. Der Einfluß der Temperatur auf die Abriebfestigkeit wurde bei Pellettemperaturen von 50°C und 25°C nachgewiesen (Tafel 1). Die Zusammensetzung der Pellets entsprach den gebräuchlichen Rezepturen.

Einen besseren Nachweis des Temperatureinflusses auf die Abriebfestigkeit der Pellets erhält man durch Angabe des Verteilungsindex der Einzelteilchen im Spektrum des gepreßten Futters. Das Bestimmen dieser Größe wird so durchgeführt, daß die Einzelteile des Pellethaufwerks nach der Abriebprüfung zunächst in fünf Masseklassen von 20% bis 100% der mittleren Anfangsmasse eines Futterpreßlings klassiert werden. Danach wird unter Berücksichtigung des Abriebs der relative Masseanteil in den Klassen errechnet und mit den Faktoren 0 bis 4 multipliziert. Die Summation dieser Produkte ergibt den Verteilungsindex des Pellethaufwerks. Wenn der Abriebtest keine Zerstörung hervorruft, erhält man den optimalen Verteilungsindex 400.

Bei den untersuchten Pellets wurde für die Guttemperatur von 25°C jeweils eine höhere Verteilungsindex ermittelt (Tafel 2).

Nach dem unmittelbaren Verlassen der Presse müssen die Pellets sehr vorsichtig behandelt werden. Beim anschließenden Kühlen dürfen nicht mehr als 2% Abrieb entstehen.

Das Pelletieren von Futtermitteln in Strangpres-

sen wird von einem Temperaturanstieg des Gutes begleitet. Diese allgemein geltende These ist aus der Äquivalenz der Wärme und der mechanischen Arbeit beim Preßvorgang abzuleiten. Die aufgewendete Arbeit wird bei stationärem Betriebszustand zur Änderung der inneren Energie des verarbeiteten Gutes und zur Deckung der Energieverluste des Systems verwendet. Bei Vernachlässigung der Energieverluste wird für die innere Energie U beim Pressen von Gut mit der spezifischen Wärmekapazität c (in kJ/kg·K) und der Masse m in der Zeit t eine Temperaturerhöhung  $\Delta\tau$  auftreten:

$$dU = m \cdot c \cdot dt \cdot dr. \quad (1)$$

$$dU = A \cdot dt \cdot P; \quad (2)$$

A geleistete Arbeit für die zum Pressen verbrauchte Leistung.

Daraus erhält man:

$$dP = k m f_s p_s \frac{1}{\rho_m} \left( \frac{\rho_m}{\rho_0} - 1 \right) \quad (3)$$

k Proportionalitätsfaktor

$f_s$  Koeffizient der inneren Reibung als Funktion der spezifischen Masse im Intervall  $\rho_0 < \rho < \rho_m$ :

$$f_s = \frac{\int_{\rho_0}^{\rho_m} f(\rho) d\rho}{\rho_m - \rho_0} \quad (4)$$

$p_s$  spezifischer Druck als Funktion der spezifischen Masse im Intervall  $\rho_0 < \rho < \rho_m$ :

$$p_s = \frac{\int_{\rho_0}^{\rho_m} p(\rho) d\rho}{\rho_m - \rho_0} \quad (5)$$

Nach weiterer Bearbeitung ergeben sich:

$$c \Delta\tau = A k f_s p_s \frac{1}{\rho_m} \left( \frac{\rho_m}{\rho_0} - 1 \right) \quad (6)$$

$$P = \frac{c \Delta\tau}{A} m \quad (7)$$

$$P = 4,187 c \Delta\tau \dot{m}; \quad (8)$$

$\dot{m}$  Durchsatz in t/h.

Aus den angegebenen Beziehungen ergibt sich, daß bei einem Erhöhen des Durchsatzes  $\dot{m}$  und bei Verarbeitung des gleichen Gutes, d.h.  $c = \text{const.}$ , die Temperaturerhöhung proportional verläuft.

Der tschechoslowakische Standard ČSN 46 7006 legt fest, daß Trockenfutterpellets vor dem Einlagern auf eine Temperatur unter 25°C abgekühlt sein müssen. Der Kühlung des Gutes muß deshalb eine außerordentliche Bedeutung beigemessen werden.

In der ČSSR werden mehrere Kühlverfahren angewendet. Der vom Betrieb TMS Pardubice hergestellte Kaskadenkühler erfüllt seine Funktion nur ungenügend. Die Pellets fallen aus einer Höhe von 4 m und werden dabei erheblich beschädigt. Die Verwendung eines Höhenförderers ist ungeeignet.

Eine länger dauernde Kühlung von Mischfutter- und Trockengrüngepellets ist ein Verfahren, bei dem spezielle Boxen verwendet werden.

Tafel 1. Abriebanteil von Pellets bei unterschiedlichen Guttemperaturen

Pelletdurchmesser mm	Abriebanteil in % bei Guttemperaturen von	
	50°C	25°C
20	15	5
30	18	4

Tafel 2. Verteilungsindex von Pellets bei unterschiedlichen Guttemperaturen

Pelletdurchmesser mm	Verteilungsindex bei Guttemperaturen von	
	50°C	25°C
20	191	327
30	240	372

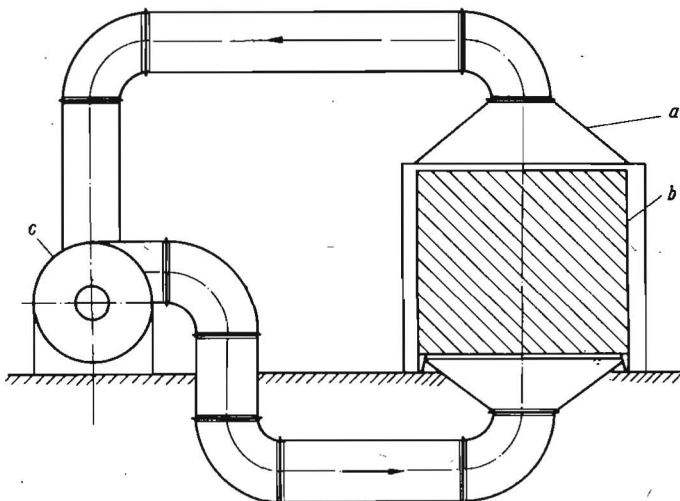


Bild 1  
Schema der Kühlrichtung:  
a Kühlbox  
b Palette mit dem gekühlten Gut  
c 2 Ventilatoren für Einblasen und Absaugen der Kühlluft

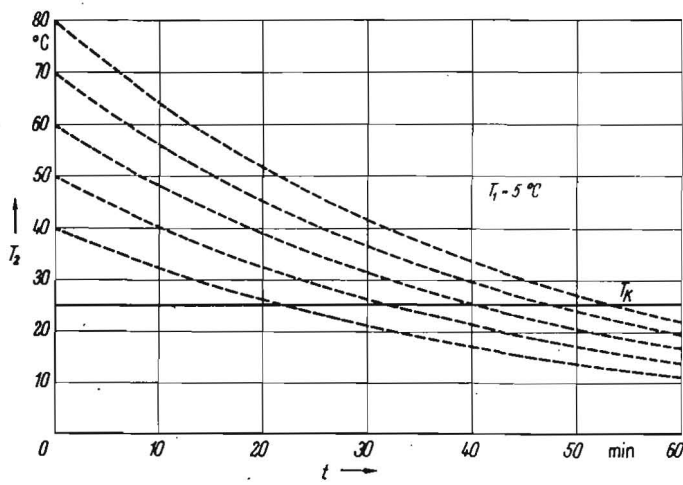


Bild 2. Abkühlungsverlauf bei einer Kühllufttemperatur  $T_1 = 5^\circ\text{C}$  und einer unterschiedlichen Eintrittstemperatur des Gutes

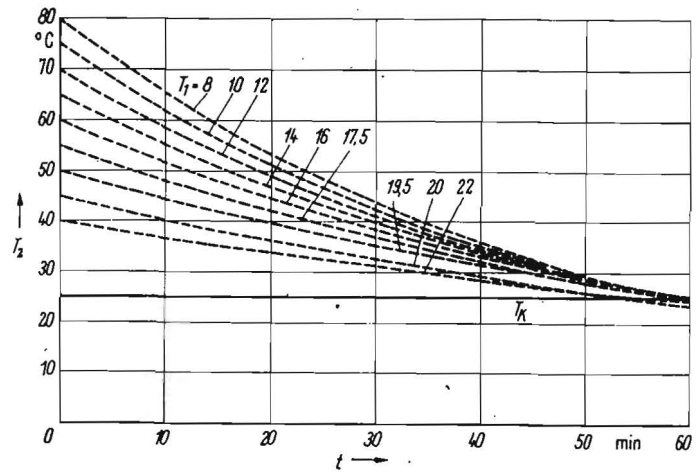


Bild 3. Maximal zulässige Kühllufttemperatur  $T_1$  in Abhängigkeit von der unterschiedlichen Eintrittstemperatur des Gutes  $T_2$  und von der konstanten Kühldauer  $t = 60$  min

Hierbei strömt eine relativ geringe Luftmenge durch eine 4 m hohe Schicht. Das Kühlen einer Boxenfüllung dauert rd. 48 h. Dann wird das Gut mit Hilfe eines Portalkrans im Boxenlager ausgelagert.

Die Abkühlung in Kühlwagen ist ein drittes Verfahren. Jeder Wagen wird mit einem selbständigen Ventilator ausgestattet, wobei die Luft über den gesamten Querschnitt eingeblasen wird. Eine Füllung umfaßt 5 t, und die Abkühlung dauert rd. 12 h. Dieses Verfahren ist nur für eine kurzzeitige Lagerung der Pellets geeignet.

Das vierte Verfahren, das gegenwärtig erprobt wird, ist das Kühlen auf Kühlbändern. Die technologischen und energetischen Forderungen werden erfüllt. Der Raumbedarf ist jedoch hoch. Die Kühldauer beträgt rd. 1 bis 2 h.

Für ein progressives Verfahren wird das Kühlen von Mischfutter und Trockengrüttoppellets in Paletten gehalten. Die Paletten dienen gleichzeitig für Transport, Umschlag und Lagerung. Die Forschung auf diesem Gebiet wurde deshalb auf die Ermittlung der Hauptabhängigkeiten, die für das Kühlen in Paletten maßgeblich sind, ausgerichtet. Das Schema der Kühleinrichtung wird im Bild 1 dargestellt. Sie besteht aus zwei Ventilatoren, einer Kammer und einem Wagen, auf dem eine Palette angeordnet wird. Durch einen Ventilator wird die Kühlluft von unten eingeblasen, die die gefüllte Palette durchströmt. Der zweite Ventilator saugt die erwärmte Luft aus dem Raum über der Palette ab. Die Palette besteht aus geschweißten Stahlprofilen, ihre Wände und der Boden sind mit einem Drahtgeflecht ausgekleidet, und an den Wänden ist eine Polypropylenfolie befestigt, die die Kühlluftmischung verhindert.

Die Paletten werden direkt aus der Pelletierpresse über einen Abriebabscheider mit Hilfe einer Schürre befüllt. Man muß darauf achten, daß die Pellets möglichst wenig beschädigt und gleichmäßig auf der ganzen Fläche der Palette verteilt werden. Der Inhalt einer Palette, deren Volumen etwa  $2,8 \text{ m}^3$  beträgt, umfaßt entsprechend der Schüttdichte des verarbeiteten Gutes etwa 1250 bis 1600 kg.

Bei der Luftzufuhr zur Palette und bei der Luftabfuhr von der Palette sollen die Verluste

möglichst niedrig sein, damit eine möglichst große Luftmenge für das Kühlen zur Verfügung steht: Die Einrichtung wird gleichzeitig so angeordnet, daß die eingeblasene und abgesaugte Luft über den gesamten Querschnitt oder auf dem oberen Teil der Palette gleichmäßig verteilt wird. Der gesamte Kühlluftstrom beträgt etwa  $40\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Folgende Messungen wurden durchgeführt:

- Messung der Menge der eingeblasenen und abgesaugten Luft
- Messung der Richtung und Geschwindigkeit der Luftströmung in der Schicht des verarbeiteten Gutes
- Messung der Temperatur des Trockengutes in Abhängigkeit von Kühldauer und Temperatur der Kühlluft.

Die Dauer einer Prüfung wurde mit 60 min festgelegt. Diese Zeit entspricht der erforderlichen Kühldauer bei einem neuen Verfahren zum Kühlen und Lagern von gepreßtem Mischfutter und Trockengrüttoppellets. Die Temperatur der Kühlluft betrug bei den Versuchen  $5^\circ\text{C}$ ,  $8^\circ\text{C}$  und  $12^\circ\text{C}$ .

Bei den Messungen bestätigte sich, daß optimale Ergebnisse dann erreicht werden, wenn 50% der Luftmenge von unten eingeblasen und 50% oben abgesaugt werden. Im Mittel haben alle Temperaturmeßstellen im festgelegten Zeitabschnitt die erforderliche Temperatur von  $25^\circ\text{C}$  erreicht.

Unter Berücksichtigung der Ähnlichkeit der Kurven für die gemessenen Temperaturverläufe wurde eine mathematische Darstellung der Abkühlungskurve gefunden. Ausgangspunkt dazu war die Beziehung:

$$\frac{dT}{dt} = K(T - T_1); \quad (9)$$

$T$  momentane Temperatur des Gutes

$T_1$  Temperatur der Kühlluft

$t$  Kühldauer

$K$  Konstante, die für das verarbeitete Gut spezifisch ist und alle Wärmeeigenschaften dieses Gutes umfaßt.

Durch Integration der Gleichung und Anwendung der gemessenen Ergebnisse wurde die Konstante  $K$  mit folgender Beziehung ausgedrückt:

$$K = \ln \left( \frac{T_K - T_1}{T_2 - T_1} \right) \frac{1}{t_K}; \quad (10)$$

$t_K$  experimentell ermittelte Temperatur aus den gemessenen Kurven

$T_2$  Eintrittstemperatur des Gutes

$T_K$  Temperatur, auf die das Gut abzukühlen ist ( $25^\circ\text{C}$ ).

Im Bild 2 wird der Zusammenhang zwischen Eintrittstemperatur des Gutes, konstanter Temperatur der Kühlluft und Kühldauer wiedergegeben.

Im Bild 3 wird die Abhängigkeit der Temperatur der Kühlluft von der Eintrittstemperatur des verarbeiteten Gutes  $T_2$  bei der konstanten Kühlzeit von 60 min dargestellt. Die ermittelten Temperaturen der Kühlluft zeigen, daß es für gepreßtes Futter, dessen Temperatur unmittelbar nach dem Pelletieren maximal  $65^\circ\text{C}$  beträgt, erforderlich ist, in den Sommermonaten einen Luftkühler anzuwenden, damit die festgelegte Grenze von 60 min für die Kühldauer eingehalten wird.

### Zusammenfassung

Die Problematik des Kühlens von gepreßtem Mischfutter und Trockengrüttoppellets wird im Vergleich zur Entwicklung der Pressen erst jetzt gelöst. Die schnelle Entwicklung von Futtermittelpelletieranlagen in der letzten Zeit und ein steiler Anstieg der Produktion von Trockenfutterpellets erfordern die Lösung dieses sehr wichtigen Gliedes im Gesamtverfahren in einer möglichst kurzen Zeitspanne. Damit den Konstrukteuren die Grundangaben für die optimale Konstruktion der entsprechenden Kühler oder Kühlanlagen zur Verfügung gestellt werden können, das Kühlen auf die Temperatur von maximal  $25^\circ\text{C}$  gewährleistet wird und der Beschädigungsgrad der Pellets nicht mehr als 2% beträgt, ist noch eine Reihe von Untersuchungen durchzuführen.

A 1561

1) Überarbeitete Fassung eines Referats zum Symposium „Mechanisierung der Futtermittelversorgung und -verabreichung in industriemäßigen Tierproduktionsanlagen“ am 2. und 3. November 1976 in Potsdam-Bornim