

Kühlen von Strohpellets nach dem Pelletieren

Dipl.-Ing. G. Reschke, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

1. Aufgabenstellung

Beim Pelletieren von Futtermitteln in Pressen erfolgt ein Temperaturanstieg des Gutes auf 70 bis 90°C. Um die Pellets lagerfähig zu machen und ihre Festigkeit zu erhöhen, muß die Guttemperatur gesenkt werden. Zur Kühlung wird Luft durch die Pelletschicht gepreßt oder gesaugt. Die Temperatur der Pellets soll nach Verlassen des Kühlers entsprechend den ATF [1] höchstens 10 K über der Kühllufttemperatur liegen. Wird die Kühlung unterlassen, entstehen bei der Lagerung durch die Wärme im Futter wesentliche Nachteile und Verluste, wie

- Verschlechterung der Verdaulichkeit des Proteins
- Abbau von Karotin und Xanthophyll
- geringerer Zusammenhalt der Pellets
- Selbsterwärmung, Brandgefahr im Lager
- Transport von Feuchtigkeit an die Außenschicht, Gefahr der Schimmelbildung.

In den letzten Jahren kamen in der DDR zunehmend Kühlbänder (Typ H 90.3, H 90.4) zum Einsatz. Auf der Grundlage von experimentellen Untersuchungen und Literaturauswertungen sollen Vorschläge zum Betrieb und

zur Auslegung von Kühlbändern erarbeitet werden.

Im Trockenwerk Selbelang, Bezirk Potsdam, wurden Untersuchungen am Kühlbund durchgeführt, um die Funktionsfähigkeit des Kühlbands beim Kühlen von Strohpellets mechanisch zu überprüfen.

2. Ergebnisse

In Tafel 1 sind die Versuchsergebnisse zur Abhängigkeit zwischen den Meßgrößen Pellettemperatur, Pelletfeuchte sowie Lufttemperatur nach der Pelletschicht und der Kühlbundlänge zusammengestellt. Weitere Messungen betrafen folgende Größen:

- Lufttemperatur vor der Pelletschicht ϑ_{Le} 19,8°C
- Temperatur des feuchten Thermometers ϑ_f 16,5°C
- Lufttemperatur in der Absaugleitung ϑ_{Las} 27°C
- Kühlluftmenge \dot{m}_L 7 160 kg/h
- Pelletdurchsatz \dot{m}_p 2 000 kg/h
- Pelletschichthöhe s_p 40...50 mm
- Pellettemperatur an der Presse ϑ_{ppT} 78°C
- Kühlbundgeschwindigkeit w_B $5,34 \cdot 10^{-2}$ m/s
- Zustandspunkte der Kühlluft (aus dem h,x-Diagramm)

- vor der Pelletschicht

$$\begin{aligned} \vartheta_{Le} &= 19,8^\circ\text{C} \\ x_{Le} &= 10,8 \text{ g/kg} \\ h_{Le} &= 47,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \quad \vartheta_f = 15^\circ\text{C}$$

- nach der Pelletschicht,

$$\begin{aligned} \text{Absaugleitung} \\ \vartheta_{Las} &= 27^\circ\text{C} \\ x_{La} &= 19,75 \text{ g/kg} \\ h_{La} &= 77,5 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \quad \vartheta_f = 24,5^\circ\text{C}$$

Die Abkühlung der Strohpellets erfolgt hauptsächlich durch die Verdunstung der Feuchtigkeit, weniger durch fühlbare Wärme [2]. Im vorliegenden Fall werden den warmen Strohpellets 76% der Wärme durch Verdunstungskühlung entzogen. Die Forderung $\vartheta_{Pa} \leq \vartheta_{Le} + 10 \text{ K}$ wurde mit dem untersuchten Kühlbund nicht erreicht. Eine Steigerung der spezifischen Luftmenge über den vorhandenen Wert von 3 580 m³/t Pellets läßt keine wesentliche Verbesserung des Kühleffekts erwarten.

In den verschiedenen Trockenwerken wurde beobachtet, daß sich die Absaugtrichter unter dem Kühlbund beim Kühlen von Strohpellets am Ende immer mehr durch Abrieb zusetzen. Die Absaugvorrichtung unter dem Kühlbund besteht aus 2 im Durchmesser zum Kühlbundende hin abgestuften Rohrleitungen mit Absaugtrichtern, die sich direkt unter dem umlaufenden Ösengliederkettenband befinden

Fortsetzung von Seite 204

und der spezifische Energiebedarf gesenkt werden können. Entscheidenden Einfluß darauf haben die Stoffarten, der TS-Gehalt, die Schüttdichte und der Zerkleinerungsgrad.

Literatur

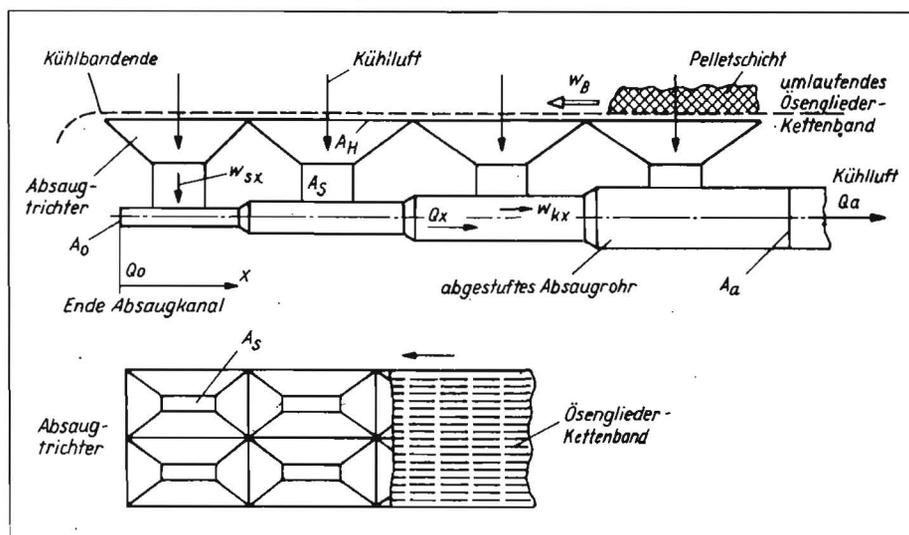
- [1] Autorenkollektiv: Agrotechnische Forderungen an Anlagen zur Herstellung kompakterer SKG. FZM Schlieben/Bornim, 1978 (unveröffentlicht).
- [2] Autorenkollektiv: Empfehlungen zur Strohpelletierung mit Natronlauge. AdL der DDR, 1978.
- [3] Dörner u. a.: Ballendosierwalzen. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1977 (unveröffentlicht).
- [4] Edner, H.; Laufeldt, P.; Michaelis, G.; Bänsch, O.: Dosieren von Stroh aus Preßballen. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1976 (unveröffentlicht).
- [5] Fehlauer, M., u. a.: Eignung verschiedener Zerkleinerungsprinzipien für das Zerkleinern von Stroh und Ganzpflanzen. IfM Potsdam-Bornim, Forschungsbericht 1975 (unveröffentlicht).
- [6] Schade, E.: Prozesse der Stoffveränderung bei der Heißlufttrocknung und Pelletierung. Vortrag zur Jahrestagung der Humboldt-Universität Berlin, 1977.
- [7] Pathak, B.-S.: Zerkleinern von Stroh. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer 1964.
- [8] Fehlauer, M., u. a.: Der Einsatz des Feldhäckslers E 280 zur Zerkleinerung von Stroh. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1977 (unveröffentlicht).
- [9] Michaelis, G.: Zur Dosierqualität von Strohhäcksel bei der Trockenfutterproduktion. agrartechnik 26 (1976) H. 11, S. 517—518.
- [10] Beer, M.; Fuchs, H.; Becker, R.; Günther, E.: γ -Volumendosierer mit Dichtemeß- und -steuer-einrichtung. agrartechnik 26 (1976) H. 11, S. 519—521.
- [11] Neuschulz, A., u. a.: Ausrüstungslösungen für rationellere TFM-Produktion. FZM Schlieben/Bornim, Forschungsbericht 1978 (unveröffentlicht).

A 2319

Tafel 1. Meßergebnisse am Kühlbund (Trockenwerk Selbelang, Messungen 1977)
Abmessungen des Kühlbands: Achsabstand 8500 mm
Bandbreite 850 mm

Meßgrößen		Kühlbundlänge L_k in m							
		1,50	3,50	4,50	5,50	6,00	6,50	7,50	8,50
Pellettemperatur ϑ_p	°C	61	50	—	40	—	—	38	36
Pelletfeuchte f_p	%	19,7	19,3	—	19,0	18,7	—	—	17,2
Lufttemperatur nach der Pelletschicht ϑ_{La}	°C	29	—	27,5	25,0	—	25,0	—	—

Bild 1. Absaugvorrichtung für die Kühlluft unter dem Kühlbund (Typ H 90.3, H 90.4)



Tafel 2. Berechnungsgleichungen für Saugrohrleitungen mit Seitenabzweigungen

Veränderlicher Querschnitt der Saugrohrleitung	Konstanter Querschnitt der Saugrohrleitung
$\bar{Q}_x'^2 - \alpha^2 \left(\frac{\bar{Q}_x}{A_x}\right)^2 - \bar{Q}_0'^2 = 0 \quad (1)$	$\bar{Q}_x'^2 - \alpha^2 \bar{Q}_x'^2 - \bar{Q}_0'^2 = 0 \quad (2)$
	— Lösung:
Verwendete Formelzeichen	$\bar{x} = \frac{1}{\alpha} \operatorname{arsinh} \frac{\alpha \bar{Q}_x}{\bar{Q}_0'} + c \quad (3)$
\bar{Q}_x dimensionsloser Volumenstrom im Absaugrohr	— aus den Randbedingungen
Q_a Gesamtvolumenstrom	$c = 0; \bar{Q}_0' = \frac{\alpha}{\sinh \alpha}$
$\bar{Q}_x = \frac{Q_x}{Q_a}$	— dimensionslose Geschwindigkeit im Absaugrohr:
\bar{A}_x dimensionsloser Querschnittsfläche der Saugrohrleitung	$\bar{Q}_x = \bar{w}_{sx} = \frac{\sinh(\alpha \bar{x})}{\sinh \alpha} \quad (4)$
A_a Querschnittsfläche am Kühlbandanfang	— dimensionslose Geschwindigkeit in den Abzweigungen:
$\bar{A}_x = \frac{A_x}{A_a}$	$\bar{w}_{sx} = \bar{w}_{sx}' = \bar{Q}_x' = \alpha \frac{\cosh(\alpha \bar{x})}{\sinh \alpha} \quad (5)$
\bar{x} dimensionslose Länge	
L Gesamtlänge des Absaugrohrs	
$\bar{x} = \frac{x}{L}$	
α charakteristischer Parameter der Saugrohrleitung	
\bar{Q}_0' Konstante	

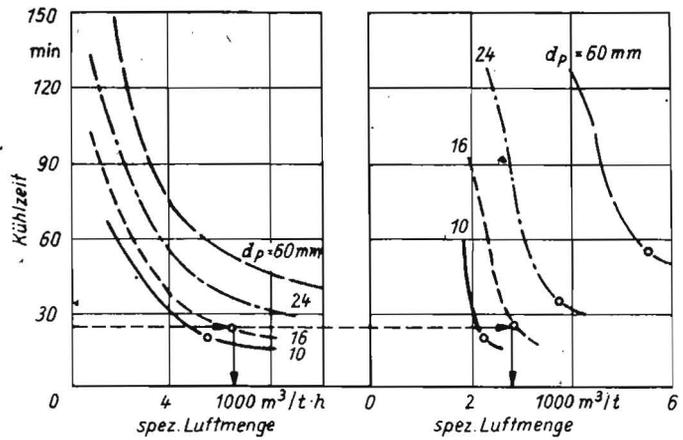


Bild 3. Minimale Kühlzeit in Abhängigkeit von der spezifischen Luftmenge [5]

Bild 2. Experimentelle Ergebnisse der Geschwindigkeitsverteilung an den Abzweigungen bei Absaugrohren mit konstantem und veränderlichem Querschnitt [3]

Tafel 3. Auslegungsunterlagen für die Konstruktion von Kühlern ($\Delta \vartheta = 4 \text{ K}$)

minimale Kühlzeit Luftmenge	Pelletdurchmesser d_p in mm			
	10	16	24	60
min	20	25	35	55
m³/t	2 200	2 800	3 800	5 500

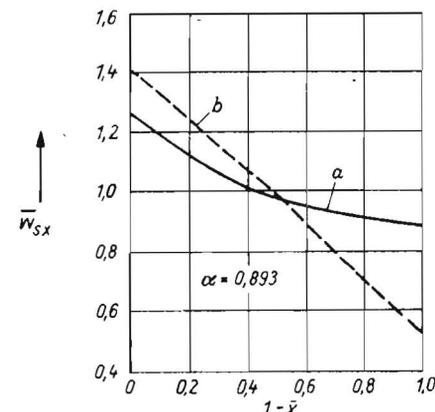
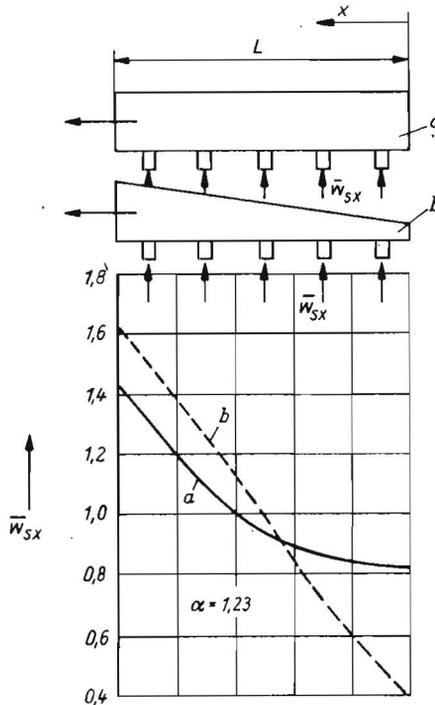
(Bild 1). Die Absaugung der Luft durch eine Rohrleitung mit Seitenabzweigungen wird nach [3] durch die Differentialgleichung (1) beschrieben (s. Tafel 2).

Experimentell ermittelte dimensionslose Geschwindigkeiten \bar{w}_{sx} in den Abzweigungen bei Saugrohren mit konstantem und veränderlichem Querschnitt, aufgetragen über die dimensionslose Länge ($1-\bar{x}$), zeigten, daß bei abnehmendem Querschnitt der Saugrohrleitung eine wesentliche Verschlechterung der Absaugleistung zum Ende hin erfolgt (Bild 2).

Der Unterschied des Widerstandskoeffizienten der Seitenabzweigungen, die wie T-Stücke arbeiten, ist am Anfang und am Ende der Saugrohrleitung mit veränderlichem Querschnitt wesentlich höher als bei einer Saugrohrleitung mit gleichbleibendem Querschnitt. Aus diesem Grund setzen sich die Absaugtrichter am Ende des Kühlbands wegen einer zu geringen Absauggeschwindigkeit mit Abrieb zu. Bei konstantem Querschnitt des Saugrohrs vereinfacht sich die Differentialgleichung (1), weil $A_x = A_a$ wird und $\bar{A}_x = 1$ [Gl. (2)]. Der charakteristische Parameter α wird mit Gl. (6) bestimmt:

$$\alpha = k \sqrt{1 + \zeta_{\text{samm}} \mu} \frac{\sum A_s}{A_a} \quad (6)$$

- k Korrekturfaktor, der die Anzahl n der Abzweigungen berücksichtigt; $k = 1,22$ für $n > 5$, $k = 1,0$ für $n < 5$
- ζ_{samm} Widerstandsbeiwert für Reibungsverluste, örtliche Widerstände und Verluste durch Mengenänderung
- μ Einstromkoeffizient an der seitlichen Abzweigung
- A_s Querschnittsfläche der seitlichen Abzweigung.



Der Einstromkoeffizient μ wird mit Gl. (7) bestimmt:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A_s}{A_H}\right)^2 + \zeta_{\text{abzw}}}} \quad (7)$$

- A_H Querschnittsfläche des Absaugtrichters
- ζ_{abzw} Widerstandsbeiwert der seitlichen Abzweigung.

Die Widerstandsbeiwerte ζ_{samm} und ζ_{abzw} können entsprechenden Tabellenwerken entnommen werden. Experimentelle Untersuchungen zeigten eine gute Übereinstimmung mit diesen theoretischen Ansätzen [3]. Aus der dimensionslosen Geschwindigkeit \bar{w}_{sx} kann die wirkliche Sauggeschwindigkeit w_{sx} in den Abzweigungen bestimmt werden:

$$\bar{w}_{sx} = \frac{w_{sx}}{w_o}; \quad w_o = \frac{Q_w}{\sum A_s}$$

w_o durchschnittliche Sauggeschwindigkeit in den Abzweigungen.

3. Grundlagen zur Bemessung von Kühlbändern

Die zu beseitigende Überschusswärme im gepreßten Futter wird durch Wärmeübergang an die vorbeiströmende Luft und durch Verdunstung der Feuchtigkeit abgeführt. Das Wasser wandert aus dem Innern des Produkts an die Oberfläche, wo es verdunstet und von der Luft aufgenommen wird. Die Wärme wird durch Wärmeleitung aus dem Innern der Futterstücke zur Außenfläche transportiert. Wegen der langsamen Transportvorgänge im Futter entstehen bei voller Ausnutzung des Wärmeaufnahmevermögens der Luft sehr lange Kühlzeiten. Deshalb wird mit Luftüberschuß gearbeitet; man verbraucht eine größere Luftmenge als theoretisch nötig wäre [4]. Die Kühlung ist von 4 Faktoren abhängig:

- Größe des Produkts
- spezifische Luftmenge
- Grad der Kühlung ($\Delta\vartheta = \vartheta_{Pa} - \vartheta_{l,e}$)
- Lufttemperatur.

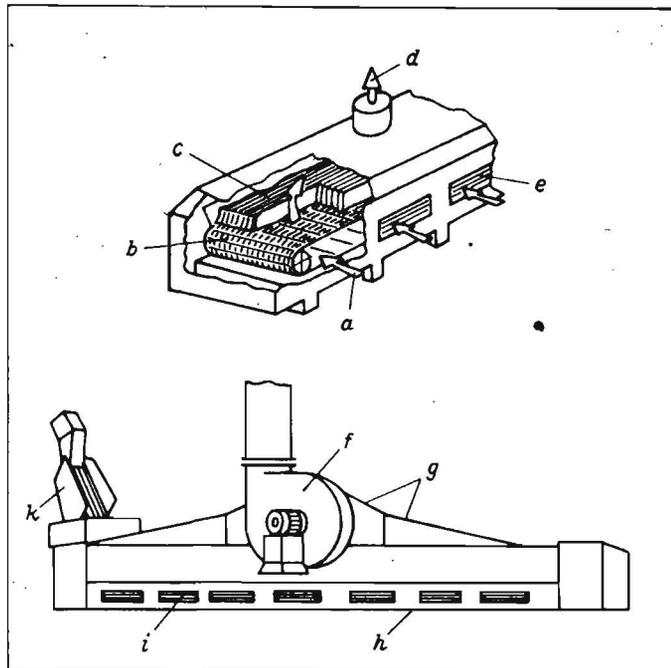
Für jede Pelletgröße erhält man eine minimale Kühlzeit, die auch durch Erhöhung der spezifischen Luftmenge nicht unterschritten werden kann, weil die Stoff- und Wärmetransportvorgänge im Innern der Futterstücke zur Außenfläche bestimmend für die Kühlgeschwindigkeit werden. Man strebt kurze Kühlzeiten bei einem hohen Ausnutzungsgrad der Kühlluft an. Bild 3 zeigt den Zusammenhang zwischen Kühlzeit und spezifischer Luftmenge und die für die Praxis zu wählenden Betriebspunkte [5]. Diese Werte geben eine geeignete Berechnungsgrundlage für die Konstruktion von Kühlern und sind in Tafel 3 zusammengestellt.

Bild 3 liegt eine Temperaturdifferenz von 4 K zwischen den gekühlten Pellets und der Eintrittstemperatur der Luft zugrunde, die wegen angemessener Kühlzeiten und hoher Produktqualität über den größten Zeitraum der Herstellersaison geeignet erscheint. Die Werte in Tafel 3 stellen deshalb eine günstige Kombination vom Grad der Kühlung mit der Luftmenge und der Kühlzeit dar. Bei Werten $\Delta\vartheta > 4$ K verkürzt sich die Kühlzeit. Das Kühlband muß so ausgelegt sein, daß eine Produktionszunahme bis zu 50% abgefangen werden kann. Ein größerer Mengenfluß wird entweder durch Vergrößerung der Schichthöhe oder durch Erhöhung der Bandgeschwindigkeit erreicht. Eine Kapazitätsänderung des Gebläses wäre technisch zu kompliziert und zu teuer. Die Dimensionierung soll für 125% des Produktionsausstoßes erfolgen. Es ist vorteilhaft, die Schichthöhe zu variieren und die Bandgeschwindigkeit konstant zu lassen, weil sich in diesem Fall der Grad der Kühlung am wenigsten ändert. Der Druckabfall beim Durchströmen der Pellets hängt von Schichthöhe, Luftgeschwindigkeit, Produktgröße und Abrieb ab. Um kurze Kühlzeiten und vernünftige Anforderungen an das Gebläse zu erzielen, soll die Schichtdicke kleiner gleich 30 cm sein. Unter Beachtung der Werte nach Tafel 3 kann der in Tafel 4 enthaltene Druckverlust erwartet werden. Vor dem Kühlband ist eine Abriebabsonderung mit Absaugmöglichkeit anzubringen, bestehend aus Rundeisen (z. B. Durchmesser rd. 5 mm) mit kleinen Zwischenräumen, über die das Futter gleitet. Die Temperatur der Kühlluft ist entscheidend für die Austrittstemperatur der Pellets. Die Praxis hat gezeigt, daß es sinnvoll ist, die Luft des Trockenraums zu verwenden, auch wenn die Außenluft kälter ist. Die Gefahr des Anfeuchtens wird damit vermieden. Durch Verwendung gekühlter Luft (Kühlaggregate) kann eine gleichmäßige Kühlung ohne äußere Beeinflussung erreicht werden. Dieser Gewinn muß aber den größeren Kosten der Kühlung gegenübergestellt werden. Erfahrungsgemäß genügt das Kühlen mit der Luft im Trocknergebäude.

Tafel 4. Druckverlust für eine Schütthöhe von 30 cm und einen durchschnittlichen Abrieb von 2 bis 3%

Pelletdurchmesser d_p mm	Druckverlust Δp Pa
10	300
16	250
24	200
60	150

- Bild 4**
Ausführungsbeispiel für ein Kühlband [5]:
- a Kühlluft
 - b Kühlband
 - c Pellets
 - d Absaugung
 - e Einströmöffnung
 - f Sauglüfter
 - g Saughauben
 - h Einsaugkanal
 - i Einsaugschlitze
 - k Gleitsieb mit Luftabsaugung



4. Ausführungsbeispiele für die Praxis

Die Bandkühler ermöglichen einen waagerechten Transport. Sie können an der Presse aufgestellt werden, damit das Futter direkt in den Kühler fällt. Ist das aus räumlichen Gründen nicht möglich, muß wegen Spreubildung ein schonender Transport zum Kühlband mit einer geringen Anzahl von Fallstellen und niedrigen Fallhöhen erfolgen.

Das Futter muß gleichmäßig auf der Kühlbandfläche verteilt sein, um einen gleichmäßigen Luftdurchgang zu erreichen, was für das Kühlergebnis wesentlich ist. Bild 4 zeigt schematisch Ausführungsbeispiele eines Kühlbands. Bei diesen Konstruktionen wird die Luft nach oben und zur Erreichung einer gleichmäßigen Absaugung über die Kühlbandlänge von der Mitte aus abgesaugt.

Kontinuierliche Kühler eignen sich am besten für einen direkten Abtransport des Futters. Sie werden in senkrechter Aufstellung als Turmkühler und in waagerechter Aufstellung als Bandkühler hergestellt. Das Kühlband verbindet die Kühlung mit einem waagerechten Transport und hat gegenüber dem Kühlturm folgende Vorteile:

- geringere Fallhöhe der warmen und lockeren Pellets
 - geringerer Abrieb, die Pellets bleiben besser erhalten
 - einfachere und schonendere Entnahme
 - leichtere Trennung von Futterpartien.
- Besonders bei lockeren Pellets mit großem Durchmesser ist der Einsatz von Kühlbändern vorteilhafter.

5. Schlußfolgerungen

Beim Einsatz von Kühlbändern muß folgendes beachtet werden:

- kleiner Transportweg von der Presse zum Kühlband
- gleichmäßige Verteilung der Pellets auf der Kühlbandfläche
- Vorrichtung zur Abriebabsonderung mit Absaugvorrichtung vor dem Kühlband anbringen
- Futterschichtdicken bis zu 300 mm bei geringen Bandgeschwindigkeiten realisieren.

Bei der Konstruktion von Kühlbändern muß besonders darauf geachtet werden, daß die Absaugrohrleitungen bis zum Ende des Kühlbands einen konstanten Querschnitt haben, um eine ausreichende Absaugleistung über die gesamte Kühlbandlänge zu gewährleisten und ein Verstopfen der letzten Absaugtrichter durch Abrieb zu vermeiden. Durch eine symmetrische Absaugung der Kühlluft von der Mitte des Kühlbands aus kommt es zu einer wesentlichen Vergleichmäßigung der Absaugung über die Kühlbandlänge.

Bei neu zu entwickelnden Kühlbändern sind die Gln. (2) bis (7) für die Bemessung der Absaugvorrichtung und die Werte der Tafel 3 zu verwenden, die den geforderten Kühleffekt garantieren.

Literatur

- [1] Agrotechnische Forderungen an Anlagen zur Produktion von kompaktierten Strohkonzentratgemischen. FZM Schlieben/Bornim 1977 (unveröffentlicht).
- [2] Dräger, J.: Kühlen von Futtermittelpreßlingen durch Kühlbänder. Abschnitt 5.5. des Forschungsberichts „Vorlage von technischen Lösungen für das Verfahren zur Herstellung von pelletierten Teifertigfuttermitteln mit Anteilen von Stroh und Ganzpflanzen“. IfM Potsdam-Bornim 1975 (unveröffentlicht).
- [3] Idelcik, J.E.: Aerodynamika promyšlennych apparatov. Moskva: Izdatel'stvo „Energija“ 1964.
- [4] Fiala, J.; Jelinek, A.: Änderung der Eigenschaften von Futtermitteln nach dem Pressen. agrartechnik 27 (1977) H. 6, S. 251—252.
- [5] Edeling, J.: Kylvning och lagring av hetluftstorkad-foder. Jordbrukstekniska institutet, Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala 1975.
- [6] Reschke, G.: Vorschläge zur Gestaltung von Erfassungs- und Absaugeinrichtungen für Staub und Schadgase bei der Strohpelletierung. agrartechnik 28 (1978) H. 11, S. 512—514. A 2336