

- geringer, über 850 Tierplätze sind solche kaum noch zu verzeichnen.
- Der Vorteil der Laufstallhaltung wird bei einstreuloser Haltung besonders deutlich. Diese Faktoren sollten im Rahmen der territorial gegebenen Voraussetzungen bei Rekonstruktionsmaßnahmen einander ergänzen.
 - Die stationäre oder teilstationäre Fütterung entspricht den Forderungen nach DK-Ablösung durch einheimische Ener-

giesträger, sonst beeinflusst sie bei vergleichbaren Konzentrationen die ausrüstungsseitig relevanten Kriterien negativ. Bei gemeinsamer Betrachtung von Ausrüstung und Bau zeigen sich bei größeren Konzentrationen jedoch Vorteile der Lösungen mit teilstationärer gegenüber denen mit mobiler Mechanisierung der Fütterung hinsichtlich des finanziellen Aufwands [1].

Literatur

- [1] Mehler, A., u. a.: Rekonstruktion und Rationali-

sierung von Milchproduktionsanlagen, Teil Bau. Institut für Landwirtschaftliche Bauten Berlin, F/E-Bericht 1982 (unveröffentlicht).

- [2] Kraut, D.: Programmbeschreibung zu den Programmen DAPP und AULI. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, 1981 (unveröffentlicht).
- [3] Heinlein, B., u. a.: Technische Prinziplösungen für die mechanische Gülleabführung. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, Abschlußbericht 1982 (unveröffentlicht).

A 3797

Einfluß bestimmter technisch-technologischer Parameter auf den Preßdruck beim Pressen von Futtermittelmischungen

Dozent Dr.-Ing. M. Klose, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik
Dipl.-Ing. R. Hejft, Polytechnische Hochschule Białystok (VRP)

1. Problemstellung

Das Pressen von Futtermitteln (Brikketieren oder Pelletieren), ein Prozeß der in den 70er Jahren stark an Bedeutung gewann und der zur Entwicklung und zum Bau unterschiedlicher Pressenkonstruktionen führte, hat in den 80er Jahren, bedingt durch die ständige Steigerung der Weltmarktpreise für die eingesetzten Roh- und Brennstoffe, an Popularität verloren. Gepreßte Futtermittel werden aber in der Tierproduktion nach wie vor benötigt und eingesetzt, obwohl der energetische Aufwand für ihre Herstellung relativ hoch ist. Bemühungen, diesen Aufwand zu senken und Pressenkonstruktionen zu optimieren, wobei auch der Material- und Instandsetzungsaufwand einbezogen werden sollte, sind daher durchaus verständlich und müßten das Interesse der Pressenhersteller und -anwender finden. Der folgende Beitrag beschäftigt sich mit einem Teil der o. g. Probleme.

2. Stand der Erkenntnisse

Während des Preßprozesses werden die Teilchen einer Futtermittelmischung verdichtet, was eine Abnahme des Volumens hervorruft und wodurch sowohl äußere Reibung des Materials an den Wänden des Preßkanals als auch innere Reibung im Material entsteht. Nach Erhalt der vorgeschriebenen Dichte herrschen in der Futtermittelmischung Kohäsions- und Adhäsionskräfte vor, die den Ausdehnungskräften nach Beendigung der Einwirkung äußerer Kräfte entgegenwirken und somit die entstandene Brikkett- oder Pelletform bewirken [1]. Eine Vergrößerung des Preßdrucks führt zu einer Vergrößerung des gegenseitigen Oberflächenkontakts der Teilchen und damit zu einem Anstieg der Bindungskräfte. Eine Erhöhung des Preßdrucks ist aber nur so lange effektiv, wie in der gepreßten Futtermittelmischung noch freie Räume zwischen den Teilchen existieren. Außer mechanischen Faktoren der Bindung der Teilchen spielen auch klebende Substanzen, wie Melasse, bei der Erhöhung der Bindungskräfte eine Rolle.

Dem Preßdruckverlauf (einem Äquivalent des Verlaufs der zugeführten Energie) während des Preßprozesses galt das Interesse

vieler Autoren, die funktionale Zusammenhänge zwischen dem Preßdruck und der Dichte ermittelten [1, 2, 3]. Besonders anschaulich wird dieser Verlauf in [1] dargestellt, wobei jedoch keine einheitliche Meinung in bezug auf die Zusammenhänge beim Pressen von Stroh- oder Heuanteilen in der Mischung herrscht.

Eine Analyse der Literatur zum Preßprozeß von Futtermittelmischungen erlaubt folgende Schlußfolgerungen:

- Bisher bekannt gewordene Untersuchungen beziehen sich auf den Einfluß jeweils einzelner Parameter auf den Preßdruck, wie
 - Feuchtigkeit der Futtermittelmischung
 - Dichte der Futtermittelmischung
 - Temperatur der Futtermittelmischung
 - perforierte Oberfläche
 - Phasenwinkel der Matrizenbohrung
 - Preßgeschwindigkeit.
- Bisher bekannt gewordene Untersuchungen beziehen sich auf eine große Anzahl

unterschiedlicher Futtermittelrezepturen bzw. deren Komponenten. Ausschnittweise Untersuchungen bei Verwendung verschiedener Rezepturen ergeben kein vollständiges Bild über den Einfluß o. g. wesentlicher technisch-technologischer Parameter auf den Preßdruck. Außerdem ist der Einfluß der letztgenannten drei Parameter nur theoretisch oder unzureichend untersucht.

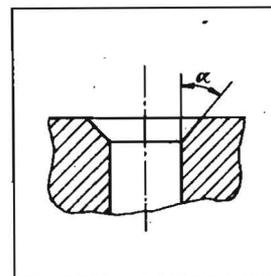


Bild 1
Detail Preßbuchse (s. Fußnote zur Tafel 3)

Tafel 1. Technisch-technologischer Parameter des untersuchten Preßprozesses und deren Variation in den durchgeführten Untersuchungen

Etappe	Parameter (der Futtermittelmischung bzw. der Matrize)	Benennung	Variation der zu untersuchenden Parameter
1	Feuchtigkeit prozentualer Strohanteil Teilchengröße (theoretisch) des Strohanteils Temperatur	U	9 %, 16 %
		S	25 %, 50 %
		L ₁	6 mm, 10 mm
		T	292 K, 338 K
2	Feuchtigkeit prozentualer Strohanteil Teilchengröße (theoretisch) des Strohanteils Temperatur Durchmesser der Matrizenbohrung Phasenwinkel der Matrizenbohrung perforierte Oberfläche Länge der Matrizenbohrung	U	9 %, 16 %
		S	25 %, 50 %
		L ₁	6 mm, 10 mm
		T	292 K, 338 K
		D	16 mm, 21 mm
		alpha	0°, 45°
		P	0,51, 0,687
L	50 mm, 90 mm		

Anmerkung:

1. Für die verschiedenen Varianten der Untersuchungen wurden entsprechende Matrizen verwendet.
2. Der Begriff „perforierte Oberfläche“ bedeutet: Verhältnis der Fläche der Bohrungen zur Gesamtfläche der Matrize.
3. Phasenwinkel α s. Bild 1

Allgemeine Untersuchungen erscheinen auch wegen der unterschiedlichen, oft gegensätzlichen Einflüsse der genannten Parameter auf den Preßdruck nicht sinnvoll und führen, wie bereits erwähnt, zu scheinbar widersprüchlichen Erkenntnissen. Aus diesem Grund wurden Untersuchungen mit Parametern durchgeführt, deren Variation in den für den Preßprozeß sinnvoll erscheinenden Grenzen erfolgte. Bei den experimentellen Untersuchungen wurden Methoden der statistischen Versuchsplanung angewendet [4]. Die dabei ermittelten Beziehungen können unter dem Gesichtspunkt der Parameteroptimierung genutzt werden.

3. Experimentelle Untersuchungen

3.1. Methodik

Die experimentellen Untersuchungen wurden in folgenden Etappen durchgeführt:
Etappe 1

Untersuchungen des Einflusses bestimmter Parameter auf den Preßdruck bei Verwendung einer Matrize mit geschlossener Bohrung, um Maximalwerte der Dichte zu erreichen

Etappe 2

Untersuchungen des Einflusses bestimmter Parameter auf den Preßdruck bei Verwendung einer Matrize mit durchgehender Bohrung, um praxisähnliche Werte der Dichte zu erreichen.

Tafel 2. Rezepturen von Futtermittelmischungen für Preßlinge des Futtermittelwerks Gardno (VRP)

Komponente	prozentualer Anteil	
	A %	B %
Stroh + NaOH	25	50
Roggenflocken	20	20
getrocknetes Gras	38	13
Rübenschnitzel	5	5
Vitaminzusatz (Polfamix)	2	2
Melasse	8	8
Harnstoff	2	2
Molke	wird in Abhängigkeit von der geforderten Feuchtigkeit dazugegeben	

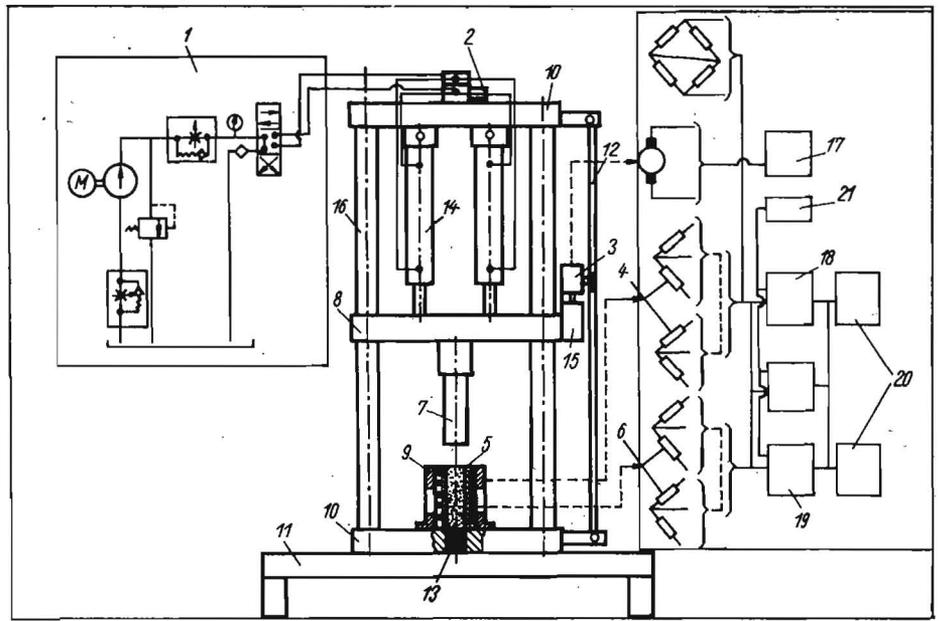


Bild 2. Schema der Versuchseinrichtung zur kontinuierlichen Messung physikalisch-mechanischer Größen während des Preßprozesses bei niedriger Preßgeschwindigkeit an einem Preßling;

1 hydraulischer Antrieb, 2 tensometrischer Druckwandler, 3 Tachogenerator, 4 tensometrisches Meßsystem, 5 Preßbuchse, 6 Meßsystem, 7 Preßkolben, 8 bewegliche Platte, 9 Gehäuse der Preßbuchse, 10 starre Platte, 11 Aufnahme, 12 Kette, 13 Matrize, 14 Druckzylinder, 15 Getriebe, 16 Führungssäule, 17, 20 Registriereinrichtung, 18, 19 Meßbrücke, 21 Frequenzmodulator

Die bei den experimentellen Untersuchungen betrachteten technisch-technologischen Parameter des Preßprozesses und deren Werte sind in Tafel 1 dargestellt.

Diese Werte resultieren aus den Ergebnissen von Testversuchen bzw. der Literatur. Das Versuchsprogramm zur Ermittlung des Einflusses bestimmter technisch-technologischer Parameter auf den Preßdruck wurde mit Hilfe eines 2^k-Faktorenplans durchgeführt.

3.2. Futtermittelmischungen

Die Rezepturen der untersuchten Futtermittelmischungen basieren auf denen der Produktion von Preßlingen des Futtermittelwerks Gardno (VRP) [3] (Tafel 2).

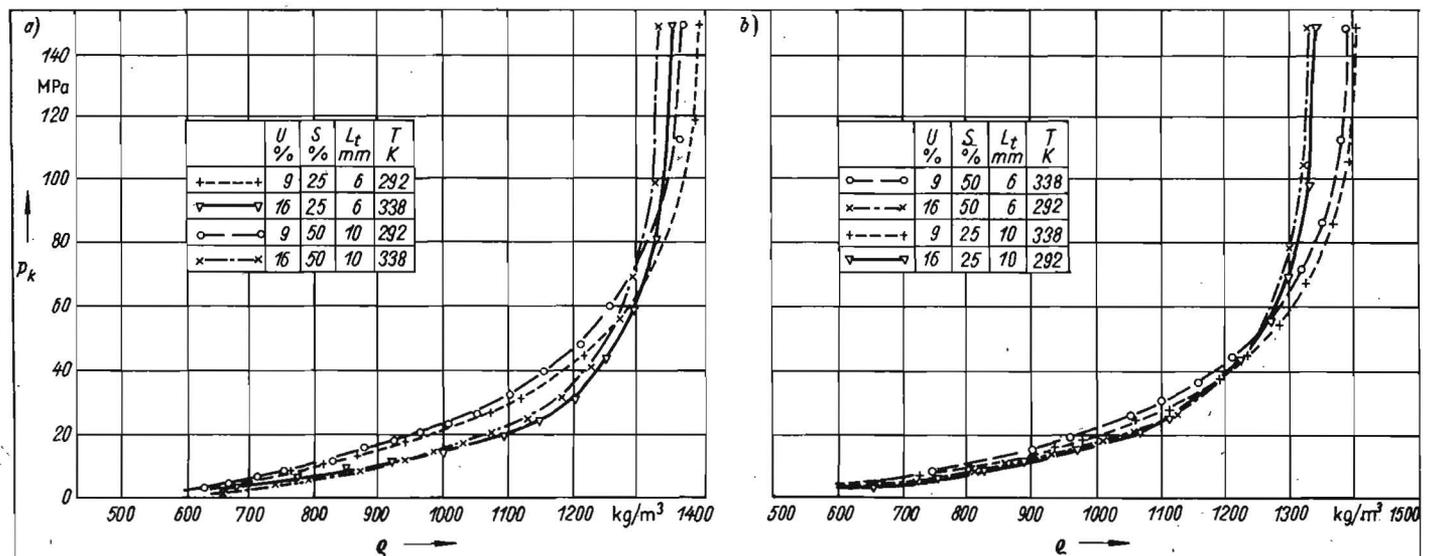
In den experimentellen Untersuchungen werden folgende 4 Futtermittelmischungen verwendet:

- A 6, mit einem Strohananteil von 25 % und theoretischer Teilchenlänge von 6 mm
- B 6, mit einem Strohananteil von 50 % und theoretischer Teilchenlänge von 6 mm
- A 10, mit einem Strohananteil von 25 % und theoretischer Teilchenlänge von 10 mm
- B 10, mit einem Strohananteil von 50 % und theoretischer Teilchenlänge von 10 mm.

3.3. Versuchseinrichtung

Die verwendete Versuchseinrichtung ist im Bild 2 dargestellt. Die Messung des Preßdrucks erfolgt durch tensometrische Druckwandler 2, die kontinuierlich den Druck im Hydrauliksystem während des Preßprozesses registrieren und ermöglichen, den Preßdruck auf die in der Preßbuchse 9 befindliche Futtermittelmischung bei bekannter Fläche zu ermitteln.

Bild 3. Verlauf des Preßdrucks p_k in Abhängigkeit von der Dichte ρ der verpreßten Futtermittelmischung bei verschiedenen technologischen Parametern



Abhängigkeit $\rho = f(U, S, L_t, T)$

$\rho = 1423,6 - 7,5 U - 0,72 S - 2,5 L_t + 0,29 T$	(1)	148
$\rho = 1418,9 - 7,36 U - 0,7 S - 2,4 L_t + 0,29 T$	(2)	138
$\rho = 1414,5 - 7,21 U - 0,7 S - 2,4 L_t + 0,29 T$	(3)	128
$\rho = 1410,3 - 7,07 U - 0,7 S - 2,4 L_t + 0,29 T$	(4)	118
$\rho = 1400 - 6,57 U - 0,68 S - 2,25 L_t + 0,28 T$	(5)	108
$\rho = 1376,4 - 5,39 U - 0,69 S - 2,31 L_t + 0,29 T$	(6)	98
$\rho = 1347,8 - 4,25 U - 0,69 S - 2,43 L_t + 0,3 T$	(7)	88
$\rho = 1334,8 - 3,39 U - 0,76 S - 2,06 L_t + 0,32 T$	(8)	78
$\rho = 1272,8 - 1,89 U - 0,73 S - 1,81 L_t + 0,32 T$	(9)	68
$\rho = 1211,1 + 0,25 U - 0,77 S - 2,19 L_t + 0,35 T$	(10)	58

Die Dichtebestimmung erfolgt durch die Massebestimmung der sich in der Preßbuchse mit definiertem Volumen befindlichen Mischung. Eine Meßuntergruppe, die zur Ermittlung der Preßgeschwindigkeit genutzt wird, besteht aus dem Tachogenerator 3 und dem Getriebe 15, die auf der beweglichen Platte 8 montiert sind. Zusammen mit der Bewegung der Platte, auf der die Untergruppe montiert ist, bewegen sich die Kettenräder des Getriebes entlang einer starren Kette 12, die den Tachogenerator antreibt. Die erzeugten elektrischen Spannungen sind proportional den Drehzahlen und diese wiederum proportional der Preßgeschwindigkeit.

4. Ergebnisse

4.1. Etappe 1

Der Verlauf des Preßdrucks p_k als Funktion der Dichte ρ in Abhängigkeit von den in Tafel 1 angegebenen Parametern ist im Bild 3 dargestellt und kann wie folgt charakterisiert werden:

- Futtermittelmischungen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 9 % haben unterhalb eines bestimmten Preßbereichs ($p_k < 58$ MPa) bei gleichem Druck eine kleinere Dichte als solche mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 16 %.
- Futtermittelmischungen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 9 % haben oberhalb eines bestimmten Preßdrucks ($p_k > 58$ MPa) bei gleichem Druck eine höhere Dichte als solche mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 16 %.
- Auf der Grundlage des F-Testes [4] zeigte sich, daß der Einfluß der Parameter U, S, L_t und T (s. Tafel 1) wesentlich ist.
- Aus den Bildern 3a und 3b und Tafel 3 ist ersichtlich, daß Veränderungen der Parameter S, L_t und T eine proportionale Verschiebung der Kurve $p_k = f(\rho)$ hervorrufen, während eine Veränderung des Parameters U eine Veränderung des Richtungskoeffizienten dieser Kurve bewirkt.
- Der Einfluß der Parameter U, S, L_t und T einer Futtermittelmischung auf die Dichte der Preßlinge wird bei unterschiedlichen

Gl. Preßdruck MPa

Preßdrücken quantitativ durch die in Tafel 3 dargestellten Abhängigkeiten bestimmt. Auf der Grundlage dieser Abhängigkeiten [Gln. (1) bis (10)] kann festgestellt werden, daß die Parameter U, S, L_t im Preßbereich $p_k > 58$ MPa einen Abfall der Dichte bewirken.

Im Ergebnis der in der Etappe 1 durchgeführten Untersuchungen kann festgestellt werden, daß für Futtermittelmischungen im Veränderungsbereich der genannten technologischen Parameter U, S, L_t und T die Preßdrücke p_k die Werte von ≈ 118 MPa nicht überschreiten sollten, da ein weiterer Anstieg derselben zu keiner praktischen Veränderung der Dichte des Preßlings führt und damit unökonomisch wird.

4.2. Etappe 2

Die im folgenden betrachteten Werte der Preßdrücke stellen die Maximalwerte $p_k = p_{kmax}$ dar, die unmittelbar vor Beginn der Bewegung der Futtermittelmischungen in die Bohrungen der Matrize (Bild 1, 13) entstehen. Im Rahmen der Untersuchungen dieser Etappe wurden folgende Ergebnisse erzielt:

- Mit Hilfe des F-Testes wurde festgestellt, daß auf den Wert des Drucks p_k die Parameter U, T, D, P, α und L (s. Tafel 1) einen wesentlichen Einfluß haben. Der Einfluß der Parameter S und L_t ist dagegen unwesentlich.
- Der Einfluß der wesentlichen Parameter auf die Werte des Preßdrucks wird durch Gl. (11) dargestellt:

$$p_k = p_{kmax} = 453,3 - 4,46 U - 0,24 T - 9,5D - 200,8P + 0,92L + 0,34\alpha \quad (11)$$

Die Gl. (11) gilt für folgende Intervalle:
 $9\% \leq U \leq 16\%$; $292 K \leq T \leq 338 K$;
 $16 \text{ mm} \leq D \leq 21 \text{ mm}$; $0,51 \leq P \leq 0,687$;
 $0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$; $50 \text{ mm} \leq L \leq 90 \text{ mm}$.

- Auf der Grundlage der Gl. (11) kann festgestellt werden, daß bei einem Anstieg der Parameter U, T, D und P der Preßdruck p_{kmax} abnimmt, während er beim Anstieg der Parameter L und α ebenfalls ansteigt.

Der durch die Gl. (11) ermittelte Einfluß der

Tafel 3

Abhängigkeiten der Dichte ρ von der Feuchtigkeit U, dem prozentualen Strohanteil S, der theoretischen Teilchenlänge L_t und der Temperatur T der Futtermittelmischung bei verschiedenen Preßdrücken p_k

genannten Parameter kann wie folgt erklärt werden:

- Ein Anstieg der Feuchtigkeit oder der Temperatur der Futtermittelmischung führt zu einer Abnahme der Reibung zwischen den Wänden der Preßkammer und der zu verpressenden Mischung, wodurch sich der Reibwiderstand und damit der Preßdruck verringert.
- Ein Anstieg der Bohrungsdurchmesser und damit der perforierten Oberfläche der Matrize führt zu einer Verringerung der Stegfläche, auf der die den Preßdruck erhöhenden, plastischen Verformungen der zu verpressenden Mischung stattfinden. Mit ihrer Verringerung reduziert sich auch der Preßdruck.
- Ein Anstieg der Bohrungslängen führt zu einer Vergrößerung, d. h. zu einem summarischen Anstieg der Reibungskräfte, die als Widerstand dem Preßdruck entgegenwirken, so daß sich dieser ebenfalls erhöht. Gleiches gilt für den Anstieg des Phasenwinkels.

5. Zusammenfassung

- Der vorliegende Beitrag soll die Erkenntnisse zum Preßprozeß von in der Tierproduktion verwendeten Futtermittelmischungen mit unterschiedlichem Stroh- oder Heuanteil erweitern.
- Für bestimmte Parameter konnten in festgelegten Grenzen qualitativ z. T. bekannte Abhängigkeiten quantifiziert werden.
- Die ermittelten Beziehungen können zur Optimierung von Rezepturen und Elementen von Pressenkonstruktionen genutzt werden.
- Die Untersuchungen sind durch Einbeziehung weiterer Parameter, wie Homogenität der Futtermittelmischung, Preßgeschwindigkeit, Geometrie der Matrizenbohrungen, Standzeit der Matrize u. a., fortzuführen.

Literatur

- [1] Melnikov, S. V.: *Mechanizacija i avtomatizacija životnovodčeskich ferm* (Mechanisierung und Automatisierung von Tierproduktionsanlagen). Leningrad: Kolos 1978.
- [2] Busse, W.: *Das Verdichten von Halmgütern mit hohen Normaldrücken*. Fortschritt-Berichte, Düsseldorf (1966) Reihe 14, Nr. 1.
- [3] Ekielski, S.: *Przemysłowa metoda produkcji pasz brykietowanych z dużym udziałem słomy* (Industrielle Methode zur Herstellung von brikierten Futtermitteln mit großem Strohanteil). *Mechanizacja rolnictwa*, Warschau 19 (1970) 5, S. 10–15.
- [4] Scheffler, E.: *Einführung in die Praxis der statistischen Versuchsplanung*. Leipzig: VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1973.
- [5] Hejft, R.: *Beitrag über den Einfluß ausgewählter technisch-technologischer Parameter auf den Preßprozeß von Futtermitteln*. Technische Universität Dresden, Dissertation 1983.

A 3936