

Beitrag zur Ermittlung der Bindemittelbelastung in Rechteckballenpressen

Von Christian Steglich, Abtshagen*)

DK 631.361.026:631.364:531.211

Größere Ballenabmessungen und der Einsatz bei höheren Gutfeuchten, z.B. für die Silagebereitung, stellen erhöhte Anforderungen an das Bindemittel und die Bindevorrichtung von Rechteckballenpressen. Um die Abhängigkeit der Kräfte am Bindemittel von den wichtigsten Konstruktions- und Gutsparemetern zu ermitteln, wird hier ein theoretisches Modell aufgestellt, das die am Bindemittel angreifenden Kräfte auf einfach zu beschreibende Reibvorgänge zurückführt. Mit aus dem Schrifttum bekannten Reibwerten wird die Eignung des Modells geprüft. Messungen des Reibwertes zwischen Polypropylenband und Gut bei höheren Feuchtegehalten schaffen die Grundlagen, auch in diesem Bereich die zu erwartenden Kräfte vorzuberechnen. Abschließend werden Möglichkeiten der weiteren Entwicklung diskutiert.

1. Vorbetrachtungen

Für die Bergung von Stroh, Heu und Welkgut hat die Ballenlinie auch in Zukunft eine große Bedeutung für die Landwirtschaft. Dabei spielen neben den stark verbreiteten Rundballen die Rechteckballen, zunehmend auch mit größeren Querschnitten, nach wie vor eine große Rolle. Der Grund liegt hauptsächlich in der gegenüber Rundballen deutlich besseren Stapel- und Transportfähigkeit und den höheren erreichbaren Dichten [1]. Gerade im Bereich höherer Dichte und bei den daraus resultierenden höheren Preßdrücken sind in Verbindung mit der Tendenz zu größeren Ballen wachsende Anforderungen an eine sicher funktionierende Bindeeinrichtung begründet.

Als Bindemittel ist international Polypropylenfaden am weitesten verbreitet, der mit Knüpfapparaten nach den Systemen *Deering*, *McCormick* oder abgeleiteten Systemen verknötet wird.

Der Bindevorgang in herkömmlichen Rechteckballenpressen läßt sich in drei Phasen unterteilen:

1. Dreiseitiges Umschlingen des Ballens während der Ballenbildung wird, verbunden mit dem Festhalten des Fadenendes an der Preßraumoberseite.
2. Umschlingen der vierten Seite des Ballens (mit Hilfe der Binde-nadel).
3. Verknöten der Fäden, verbunden mit dem Festhalten des neuen Fadenendes.

Nachfolgender Beitrag soll sich mit Vorgängen befassen, die sich aus dem dreiseitigen Umschlingen des Ballens während der Ballenbildung ergeben. Aus den Ergebnissen sollen dann Folgerungen für das Festhalten des Fadenendes an der Preßraumoberseite und für die Knotenbildung abgeleitet werden.

*) Dr.-Ing. Ch. Steglich war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben (ehemals DDR), Abteilung Abtshagen.

2. Wirkende Kräfte und Einflußfaktoren

2.1 Theoretisches Modell

Während der Bildung des Ballens wird das Bindemittel an der Preßraumoberseite festgehalten und verläuft durch den Preßraum zur Spitze der Binde-nadel. Dabei formt sich eine Schlaufe, in die der Ballen hineingepreßt wird. Die an der Ballenoberseite benötigte Bindemittellänge muß dabei zwischen dem vorherigen, bereits abgeordneten Ballen und dem neuen hindurchgezogen werden, **Bild 1**. Bei diesem Durchziehen werden infolge der Reibung zwischen dem Bindemittel und dem Preßgut Kräfte wirksam, die sowohl das Bindemittel als auch die Einrichtung zum Halten des Bindemittelendes an der Preßraumoberseite belasten.

In **Bild 2** sind die Angriffstellen und Wirkungsrichtungen der Kraftkomponenten dargestellt, die für eine theoretische Betrachtung der während der Ballenbildung auftretenden Bindemittelbelastung zugrunde gelegt werden. Größenordnungen und funktionelle Zusammenhänge sind hierbei nicht berücksichtigt.

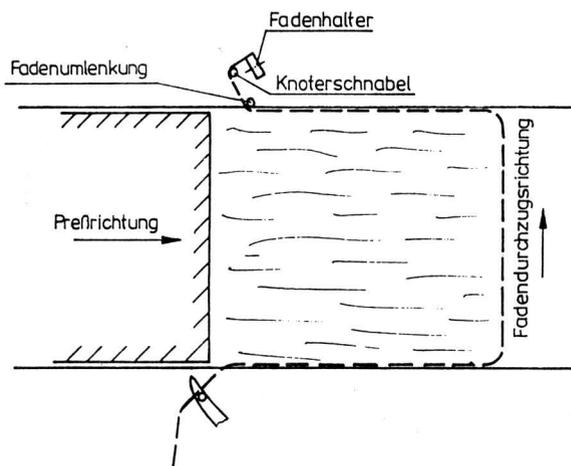


Bild 1. Durchziehen des Bindemittels bei der Bildung des Ballens.

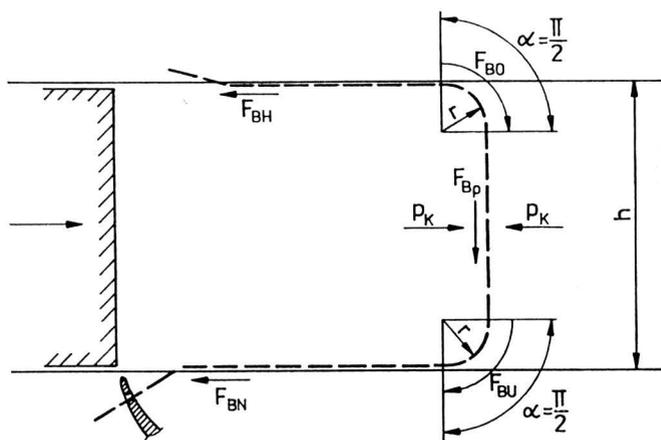


Bild 2. Modell zur Ermittlung der Kräfte am Bindemittel.

Für die rechnerische Erfassung der Größe der Umlenkkräfte F_{BU} und F_{BO} muß berücksichtigt werden, daß infolge der Bindemittelspannung an der unteren und oberen Ballenkante eine Einschnürung und Abrundung auftritt. Im Interesse eines überschaubaren Rechenansatzes werden dazu folgende idealisierte Annahmen getroffen:

- Die Abrundungen haben die Form eines Kreisbogens und sind oben und unten gleich groß.
- An den Abrundungen wird das Bindemittel nicht eingeklemmt.
- Der Reibwert zwischen Bindemittel und Preßgut ist an jeder Stelle des Ballens gleich groß.

Mit diesen Annahmen läßt sich für die Berechnung der Kräfte F_{BU} und F_{BO} die Gleichung für die Seilreibung nutzen, Bild 3:

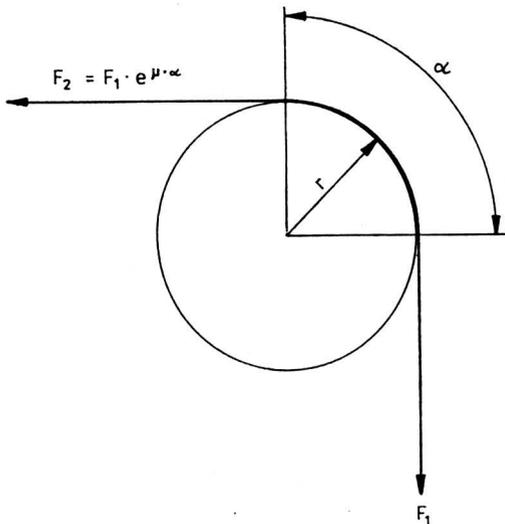


Bild 3. Kräfte bei der Seilumlenkung.

$$F_2 = F_1 e^{\mu \alpha} \quad (1)$$

Für die weitere Rechnung wird mit der Substitution

$$k = e^{\mu \alpha} \quad (2)$$

daraus die Gleichung

$$F_2 = F_1 k \quad (3)$$

wobei im vorliegenden Fall mit $\alpha = \pi/2$ der Faktor k allein vom Reibwert abhängig ist, Bild 4.

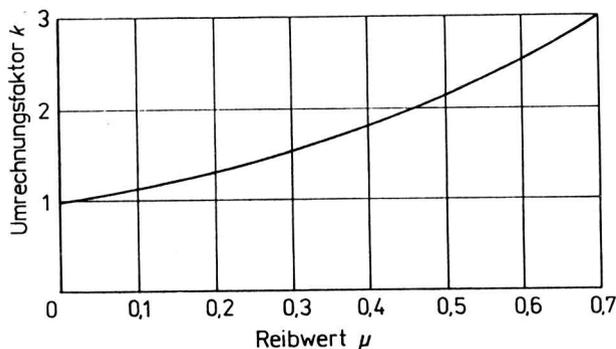


Bild 4. Faktor k in Abhängigkeit vom Reibwert.

Für die einzelnen Kräfte nach Bild 2 gilt:

$$F_{BN} = \text{konst. (vorgegeben)} \quad (4)$$

$$F_{BU} = F_{BN} k \quad (5)$$

$$F_{BP} = p_K A_B \mu \quad (6)$$

mit

$$A_B = 2 b_B (h - 2r) \quad (7)$$

$$F_{BO} = k (F_{BU} + F_{BP}) \quad (8)$$

In den aufgeführten Gleichungen sind als unbekannte Größen, die von konstruktiven Vorgaben nicht erfaßt werden,

- der Radius der Abrundung an den Ballenkanten r,
- der Reibwert und
- die vom Preßdruck beaufschlagte Bindemittelbreite b_B

enthalten. Der Wert für r wird zweckmäßigerweise auf der Grundlage von Beobachtungen abgeschätzt.

Für den Reibwert liegen für verschiedene Feuchtegehalte u Werte aus dem Schrifttum vor:

Polypropylenfaden ($u = 0$) auf Stroh ($u = 0,2$) $\mu = 0,3$ [2],

Stahl auf Stroh ($u = 0,12$) $\mu = 0,2$ [3].

Damit ergeben sich nach Gl. (2) bzw. aus Bild 4 für Polypropylenfaden $k = 1,6$ und für Stahl $k = 1,37$.

Eine gesonderte Betrachtung erfordert die vom Preßdruck beaufschlagte Bindemittelbreite b_B . Bei bandförmigen Bindemitteln (Bandstahl, Polypropylenband) kann angesetzt werden:

$$b_B = b_{\text{Band}},$$

da die Seitenflächen vernachlässigbar klein sind. Für Bindemittel mit kreisförmigem Querschnitt (z.B. Draht) gelten zwei Grenzfälle:

1. Preßdruck wirkt nur in Preßrichtung, dann $b_B = d_B$
2. Preßdruck wirkt allseitig gleich stark, dann $b_B = d_B \pi/2$.

Der wahre Wert für b_B liegt zwischen beiden Grenzfällen und wird bei Fäden wegen der Abflachung infolge des Preßdruckes p_K mehr in Richtung $d_B \pi/2$ tendieren. Die Einwirkung des Preßdruckes auf die verschiedenen Bindemittel ist in Bild 5 dargestellt.

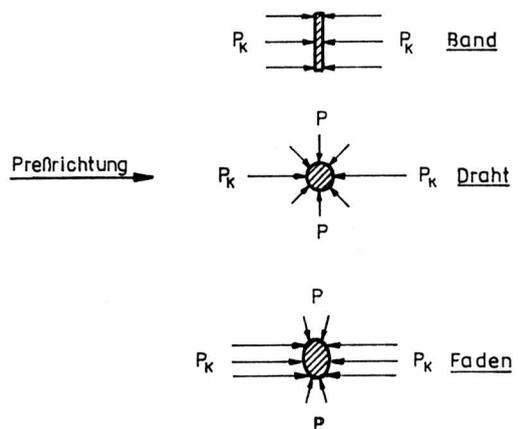


Bild 5. Einwirkung des Preßdruckes auf die Bindemitteloberfläche.

Auf der Grundlage dieser theoretischen Betrachtungen soll nun eine Berechnung der zu erwartenden Haltekraft für das Bindemittel an der Preßraumoberseite durchgeführt werden. Dabei wird von einer Preßraumhöhe von 1200 mm ausgegangen, da dies die maximale bisher realisierte Höhe darstellt und dabei die Probleme am deutlichsten sichtbar werden. Der Radius an den Ballenkanten wird mit 100 mm

angesetzt. Als Bindemittel wird Polypropylenfaden einer Lauflänge von 150 m/kg ($\approx 6700 \text{ tex}$) mit $d_B = 5 \text{ mm}$ angenommen. F_{BH} wird mit 50 N angesetzt, was mit Messungen an üblichen Ballenpressen übereinstimmt.

Unter Verwendung der abgeleiteten Gleichungen ergibt sich in Abhängigkeit vom Preßdruck der in Bild 6 dargestellte Bereich der Werte von F_{BH} . Zum Vergleich ist auch die Haltekraft bei der Verwendung von Stahldraht mit $d_B = 5 \text{ mm}$ (Annahme: $b_B = d_B$) eingetragen. Es ist erkennbar, daß für den in Ballenpressen üblichen Preßdruckbereich von $p_K = 0,2 \text{ MPa}$ bei Polypropylenfaden im betrachteten Fall eine Haltekraft zwischen $F_{BH} = 1088 \text{ N}$ und $F_{BH} = 1635 \text{ N}$ zu erwarten ist.

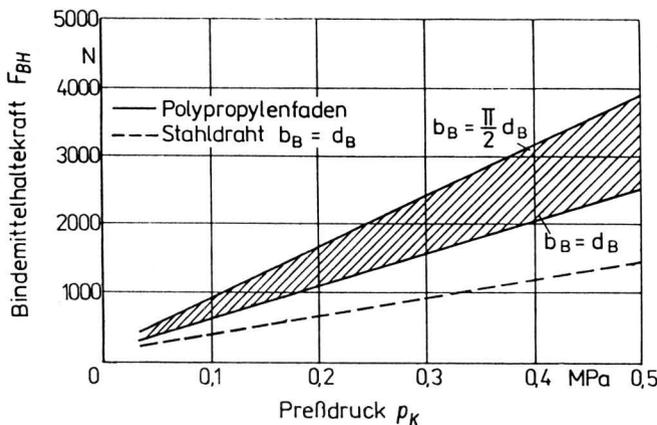


Bild 6. Erforderliche Bindemittelhaltekraft an der Preßraumoberfläche in Abhängigkeit vom Preßdruck.

2.2 Eigene Detailmessungen zum Reibwert

Um die Richtigkeit einiger Annahmen zu überprüfen und die Aussagefähigkeit auf andere Gutfeuchten zu erweitern, wurden unter Laborbedingungen Reibwertuntersuchungen und Betrachtungen zur Umlenkung des Fadens um die Ballenkante durchgeführt.

Die ermittelten Reibwerte zwischen Polypropylenfaden und Weizenstroh und die daraus resultierenden Werte des Faktors k sind in Bild 7 und 8 als Funktion des Feuchtegehaltes dargestellt. Ein Vergleich des im Schrifttum [2] genannten Wertes für den Reibwert bei $u = 0,2$ von $\mu = 0,3$ mit dem im Versuch ermittelten von $\mu = 0,33$ zeigt eine gute Übereinstimmung.

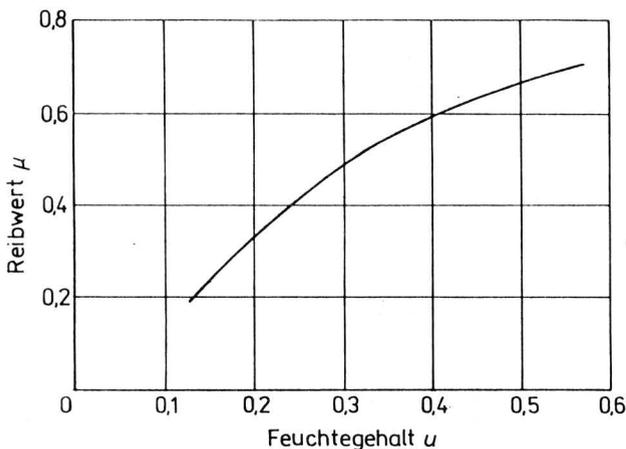


Bild 7. Meßwerte des Reibwertes in Abhängigkeit von der Gutfeuchte.

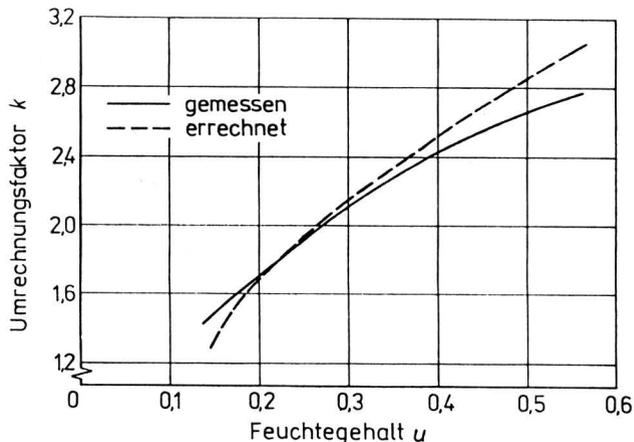


Bild 8. Faktor k in Abhängigkeit von der Gutfeuchte; Vergleich von Rechnung und Messung.

2.3 Durchzugskraftmessungen

Weitere Untersuchungen hatten die direkte Messung der Haltekraft des Fadens an der Preßraumoberseite zum Inhalt. Dazu wurde ein Prüfstand mit einer Preßraumhöhe von 1200 mm verwendet.

Die Versuche wurden in zwei Gutfeuchtebereichen gefahren, $u = 0,14$ und $u = 0,16$, wobei die höhere Gutfeuchte als Taufeuchte, also oberflächlich, vorlag und damit einen deutlicheren Einfluß hatte, als von den reinen Feuchtwerten her zu erwarten war. Einige Verläufe der gemessenen Scheitelkräfte der Haltekraft sind in Bild 9 und 10 dargestellt. Der mittlere Preßdruck lag bei diesen Versuchen bei $p_K = 0,185 \text{ MPa}$.

Den detaillierten Verlauf der Haltekraft während der Herstellung eines Ballens zeigt Bild 11.

Aus diesen Bildern lassen sich zwei grundsätzliche Aussagen ableiten:

- Die höchsten Scheitelwerte der Haltekraft treten auf, wenn die Ballengrenze den Bereich der größten örtlichen Drücke im Preßraum passiert (beim Prüfstand im ersten Teil der Ballenbildung). Zum Ende der Ballenbildung, wenn die Bindung erfolgt, sind die Scheitelwerte der Haltekraft deutlich niedriger.
- Die maßgebenden Scheitelwerte der Haltekraft treten nur im Preßhub des Kolbens auf, während des Kolbenrückhubes geht die Kraft weit zurück.

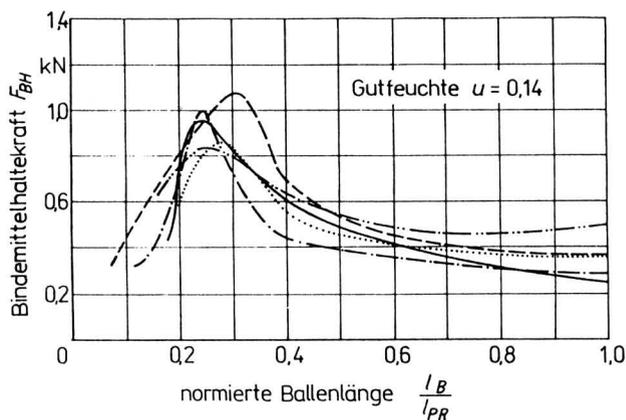


Bild 9. Gemessene Scheitelwerte der Haltekraft für das Bindemittel an der Preßraumoberseite bei einer Gutfeuchte von $u = 0,14$.

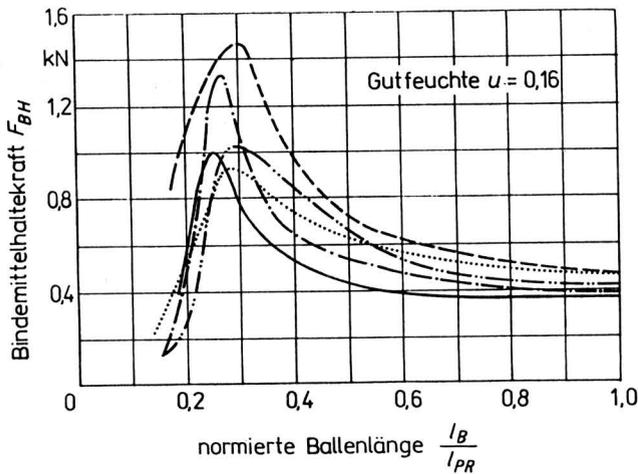


Bild 10. Gemessene Scheitelwerte der Haltekraft für das Bindemittel an der Preßraumoberseite bei einer Gutfeuchte von $u = 0,16$.

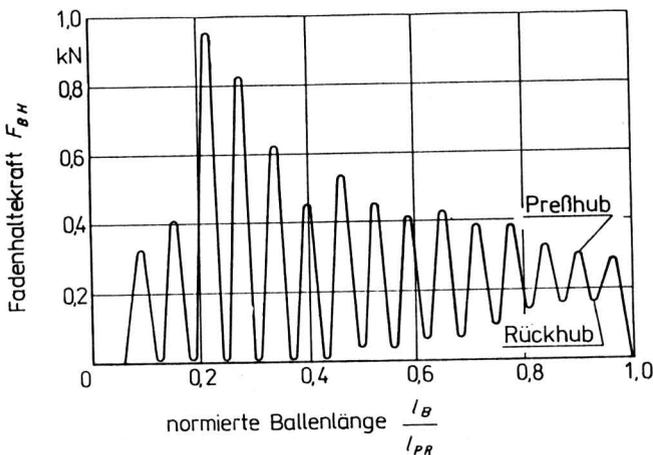


Bild 11. Ausgewählter Verlauf der Haltekraft für das Bindemittel an der Preßraumoberseite.

Die genauen Verläufe sind stark abhängig von der konstruktiven Gestaltung des Preßraumes. Im Prüfstand war dieser so gestaltet, daß die maximalen örtlichen Drücke weit im vorderen Bereich des Preßraumes auftraten. Außerdem waren im hinteren Teil sowohl oben als auch unten Querträger eingesetzt, durch die die Fadenschlitze verschlossen wurden. Daraus resultierte das Einklemmen der Fäden zwischen dem Ballen und diesen Trägern und somit eine Erhöhung der erforderlichen Haltekraft für den Faden auch im hinteren Bereich der Ballenbildung.

Eine Berechnung nach Abschn. 2.1 ergibt für $p_k = 0,185$ MPa als obere und untere Grenzwerte ($b_B = d_B$ bzw. $b_B = d_B \pi/2$) für die Haltekraftmaxima F_{BH} 650 N und 970 N ($u = 0,14$) bzw. 850 N und 1280 N ($u = 0,16$).

Ein Vergleich mit den Bildern 9 und 10 zeigt, daß die gemessenen Werte im erwarteten Bereich liegen.

3. Folgerungen

3.1 Halten des Fadenendes an der Preßraumoberseite

Diese Aufgabe der Knüpfereinrichtung gewinnt mit der Erhöhung der Preßdichte und damit der Erhöhung des Preßdruckes und der Vergrößerung der Preßraumhöhe immer mehr an Bedeutung. In diesem Zusammenhang spielt auch die zunehmende Forderung nach Eignung der Pressen zur Silagebereitung eine große Rolle.

Die Halteeinrichtungen müssen Kräfte aufzunehmen in der Lage sein, die in der Größenordnung der Reißfestigkeit der Fäden liegen. In den meisten in der Praxis eingesetzten Pressen wird das gewährleistet. Das größere Problem liegt in der Reißfestigkeit der Fäden selbst. Mit Hilfe des in Abschn. 2.1 aufgestellten Berechnungsmodells und des in Bild 7 dargestellten Reibwertverlaufes lassen sich die zu erwartenden Einsatzgrenzen bezüglich der Gutfeuchte für entsprechende Fadenstärken in Abhängigkeit von der Preßraumhöhe und dem Preßdruck ermitteln. In **Tafel 1** sind die Berechnungsergebnisse aufgelistet, wobei von folgenden Voraussetzungen ausgegangen wurde:

- Ballenkantenradius $r = 0,1 h$
- spezifische Fadenreißfestigkeit $F_{R\text{spez.}} = 375$ kN m/kg.

obere Gutfeuchtegrenze u_{max}									
Lauf- länge (m/kg)	p_k (M Pa)	$h = 360$ mm		$h = 600$ mm		$h = 800$ mm		$h = 1200$ mm	
		I	II	I	II	I	II	I	II
150	0,20	*	*	0,44	0,65	0,34	0,51	0,25	0,35
	0,25	0,57	*	0,36	0,55	0,29	0,41	0,21	0,30
250	0,20	0,49	*	0,33	0,47	0,26	0,37	0,21	0,27
	0,25	0,41	*	0,28	0,40	0,23	0,32	0,18	0,23
300	0,20	0,44	*	0,30	0,42	0,25	0,34	0,19	0,25
	0,25	0,37	0,53	0,25	0,35	0,21	0,29	0,17	0,22
350	0,20	0,40	0,57	0,28	0,38	0,23	0,31	0,18	0,23
	0,25	0,34	0,47	0,24	0,33	0,20	0,26	0,17	0,21
400	0,20	0,37	0,51	0,26	0,35	0,22	0,29	0,18	0,23
	0,25	0,32	0,42	0,23	0,30	0,19	0,25	0,16	0,20

I $b_B = d_B \pi/2$ II $b_B = d_B$

* Reißfestigkeit wird nicht überschritten

Tafel 1. Errechnete Einsatzgrenzen bezüglich der Gutfeuchte.

Es zeigt sich, daß nach diesen theoretischen Betrachtungen z.B. Großballenpressen mit 600 mm Preßraumhöhe unter Verwendung von Fäden mit 150 m/kg Lauflänge für die Silagegewinnung nur noch bedingt einsetzbar sind, wenn sie einen Preßdruck von wenigstens 0,2 MPa realisieren.

Bei dieser Betrachtung ist noch nicht berücksichtigt, daß an der Preßraumoberseite in der Regel noch eine Fadenumlenkung zwischen der Fadenhalteinrichtung und dem Ballen angeordnet ist (siehe Bild 1), durch die die Fadenreißfestigkeit noch reduziert wird.

Über die Größe der Verminderung der Reißfestigkeit können an dieser Stelle keine allgemeingültigen Aussagen gemacht werden, da sie von mehreren Faktoren abhängig ist (z.B. Umlenkradius, Fadenstärke). Es soll deshalb nur ein im Versuch ermitteltes Beispiel angeführt werden:

- Faden: Lauflänge 150 m/kg
- Umlenkradius: 10 mm
- Minderung der Reißfestigkeit: 27 %.

Es zeigt sich also, daß die Gestaltung dieser Umlenkstelle einige Aufmerksamkeit verdient. Für Großballenpressen mit einer Preßraumhöhe von 1200 mm ist unter Berücksichtigung der Reißfestigkeitsminderung des Fadens infolge Umlenkung an der Preßraumoberseite bereits der Einsatz in Stroh mit Feuchten $u > 0,16$ kritisch.

3.2 Verknoten der Fäden

Bei üblichen Geradschubkolbenpressen ist das Binden dem Preßvorgang zeitlich so zugeordnet, daß die Knotenbildung während des Kolbenrückhubes stattfindet, **Bild 12**. Das bedeutet, daß während der Knotenbildung nicht die Maxima der Fadenkraft wirken, sondern daß nur eine deutlich niedrigere "Restfadenspannung" vorliegt (siehe auch Bild 11). Die Größe dieser Fadenspannung ist von mehreren Einflußfaktoren abhängig, z.B.

- Preßraumgestaltung
- Preßdichte
- Gutfeuchte.

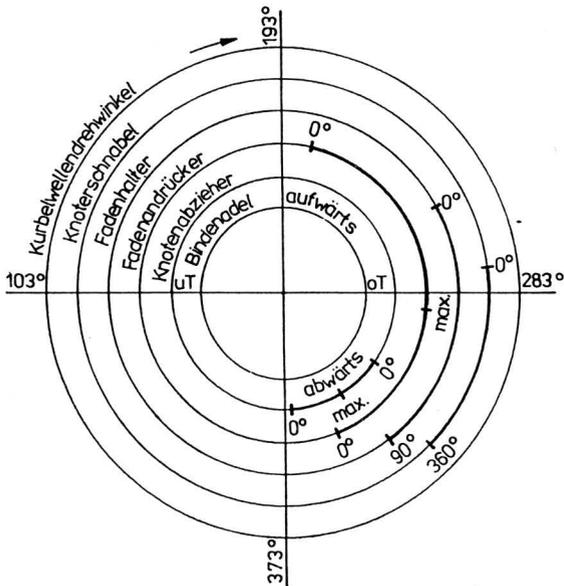


Bild 12. Ablaufschema des Bindevorganges einer herkömmlichen Ballenpresse.

Größere Preßdichten bzw. höhere Gutfeuchten bewirken einen Anstieg der Fadenspannung auch während der Knotenbildung. Aus diesen höheren Fadenspannungen resultieren:

- deutlicher Anstieg des Antriebsdrehmomentes der Knüpfervelle und
- größerer Verschleiß.

Ein Beispiel für den Einfluß der Preßdichte auf das Antriebsdrehmoment nach Zlenko [4] ist in **Bild 13** dargestellt.

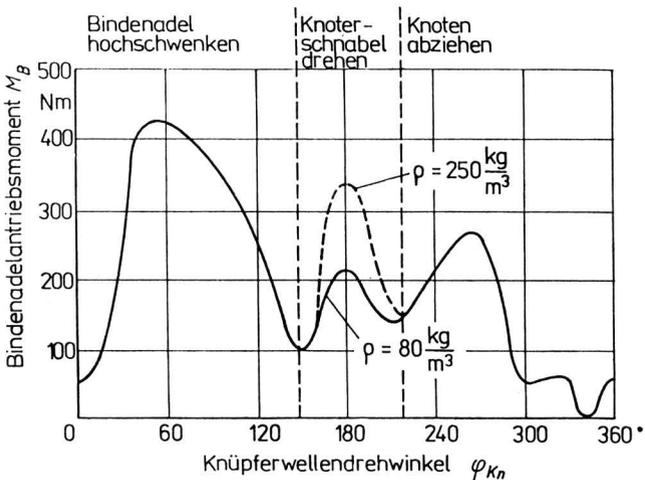


Bild 13. Erforderliches Antriebsmoment der Bindevorrichtung bei zwei verschiedenen Preßdichten; nach Zlenko [4].

3.3 Lösungen in der Praxis

Im praktischen Pressenbau wird versucht, den o.g. Problemen auf verschiedene Weise entgegenzuwirken.

Die erste Maßnahme stellt der Einsatz verstärkter Knüpfapparate dar. Diese Variante, die bereits eine weite praktische Verbreitung erfahren hat, beinhaltet im wesentlichen auf der einen Seite Fadenhalteeinrichtungen, die in der Lage sind, Haltekräfte aufzunehmen, die wenigstens der Fadenreißeigenschaft entsprechen, und andererseits einen mechanischen Aufbau, der wesentlich höhere Antriebsdrehmomente verarbeiten kann, ohne daß dabei Bruchschäden auftreten.

Weitere Möglichkeiten sind das Legen einer definierten Fadenreserve, die dann kurz vor der Knotenbildung freigegeben wird [5], **Bild 14**, oder das kurzzeitige Öffnen der Preßraumeinengung vor der Knotenbildung, um das Entspannen des Ballens und damit auch des Fadens zu ermöglichen [6].

Mit diesen Lösungen ist die Knotenbildung abgesichert, solange die Fäden nicht schon während des Ballenaufbaus reißen, allerdings bei Inkaufnahme z.T. sehr hoher Antriebsmomentenspitzen.

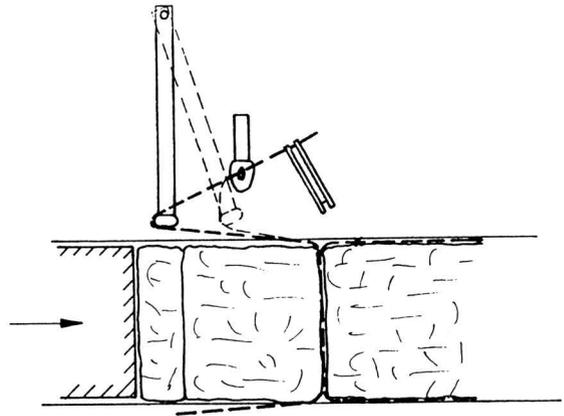


Bild 14. Schaffen einer Fadenreserve zum leichteren Knüpfen.

Dem Reißen der Fäden wiederum kann auf unterschiedliche Weise entgegengewirkt werden. Eine Möglichkeit stellt das Legen einer Fadenreserve an der Ballenoberseite dar [7]. Hierbei wird durch eine Zusatzeinrichtung gleich nach erfolgter Bindung, also wenn die neue Fadenschleife noch nicht zwischen den Gutschichten eingeklemmt ist, eine fest vorgegebene Fadenslänge gezogen und an der Ballenoberseite als Schlaufe gelegt. Diese Fadenslänge muß bei der Bildung des Ballens nicht durch das Gut gezogen werden, **Bild 15**.

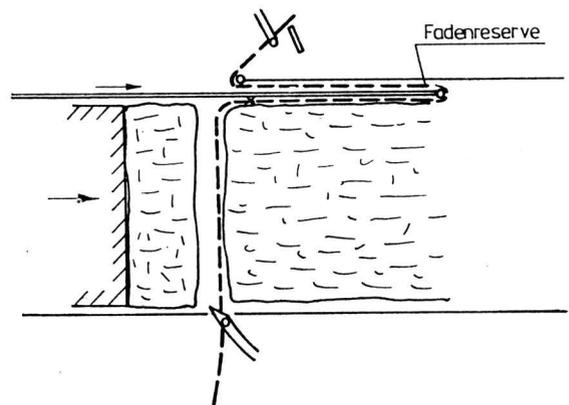


Bild 15. Legen einer Fadenreserve, um das Durchziehen zwischen Ballen zu vermeiden.

Diese Lösung beinhaltet allerdings zwei wesentliche Nachteile:

1. ist eine aufwendige Zusatzeinrichtung erforderlich und
2. ist eine Variation der Ballenlänge nicht möglich, ohne die Wirkung zu beeinträchtigen (Ballenlänge zu groß – unwirksam, Ballenlänge zu gering – Fadenspannung bei der Knotenbildung zu gering und damit Binde störung möglich).

Gerade der zweitgenannte Mangel läßt die Frage aufkommen, ob eine solche Einrichtung sinnvoll ist, wenn schon die beim normalen Pressenbetrieb auftretenden Schwankungen der Ballenlänge (+/- eine Preßgutschicht) Störungen hervorrufen können.

Eine zweite Lösung, die bereits in der praktischen Realisierung ihre Zweckmäßigkeit nachgewiesen hat, ist die sogenannte Zweiknotenbindung [8]. Diese von der Fa. Hesston auf den Markt gebrachte Bindevariante erfordert zwar ebenfalls erhöhte technische Aufwendungen gegenüber der normalen Einknotenbindung, ist jedoch unempfindlich gegenüber Schwankungen der Gutparameter, der Ballenlänge sowie der Preßdichte.

Hinsichtlich der praktischen Pressenentwicklung können an dieser Stelle zusammenfassend zwei Tendenzen festgestellt werden:

1. Preßraumhöhen bis 600 mm (Ausnahmen 800 mm): Einsatz der Einknotenbindung unter Verwendung verstärkter Knüpfapparate.
2. Preßraumhöhen bis 1200 mm: Einsatz der Zweiknotenbindung (bisher nur von der Fa. Hesston mit Spezialknüpfapparaten als Serienlösung realisiert).

Beide Tendenzen stellen Kompromisse dar. So zeichnet sich ab, daß beim Erzeugen noch höherer Preßdichten als bisher die bei Einsatz der Einknotenbindung mögliche Preßraumhöhe noch weiter reduziert wird, während die Zweiknotenbindung einen deutlich höheren technischen Aufwand mit sich bringt.

4. Entwicklungsmöglichkeiten

Für die weitere Entwicklung der Bindeeinrichtungen auf mobilen Pressen unter dem Gesichtspunkt der Erzeugung höherer Ballendichten, größerer Ballenquerschnitte und der Einsatzmöglichkeit zur Silagegewinnung ergeben sich folgende Zielrichtungen:

- Verbesserung und Vereinfachung der Zweiknotenbindung.
- Schaffung von Voraussetzungen, um das einfache Einknotenbindeprinzip weiterhin nutzen zu können.

Zum erstgenannten Aspekt sei noch hinzugefügt, daß bisher nur Zweiknotenbindeeinrichtungen bekannt sind, die nach dem System *Deering* arbeiten. Unter dem Gesichtspunkt höherer Ballendichten kommt aber auch dem Nachteil der gegenüber dem System *McCormick* geringeren Knotenreißfestigkeit eine Bedeutung zu.

Zur Vergrößerung des möglichen Einsatzspektrums der Einknotenbindung sind im wesentlichen zwei Ansatzpunkte zu erkennen. Zum einen sind das die Knüpfapparate selbst. Hier gilt es, nach Möglichkeiten zu suchen, um vor allem den Verschleiß zu reduzieren, wobei auch Lösungen zu betrachten sind, die eine Verringerung des erforderlichen Antriebsdrehmomentes zum Inhalt haben [9].

Die zweite Arbeitsrichtung betrifft die Gestaltung des Preßraumes und die räumliche Zuordnung der Bindeeinrichtung zu diesem. Erste Überlegungen zu diesem Komplex zeigen noch deutliche Reserven.

5. Zusammenfassung

Die Arbeit behandelt das Problem der Bindemittelbelastung in Rechteckballenpressen. Dabei wird vor allem der Tendenz zu höheren Preßdichten und größeren Preßraumabmessungen Rechnung getragen. Ausgehend von einem theoretischen Modell, werden die während der Bildung des Ballens am Bindemittel auftretenden Kräfte abgeleitet. Mit diesen Ergebnissen werden die Grenzen für die Einsetzbarkeit von Bindemitteln, speziell von Polypropylenfäden unterschiedlicher Stärken, in Pressen in Abhängigkeit von den Preßraumabmessungen, dem Preß-

druck und dem Reibwert zwischen dem Faden und dem Preßgut bei unterschiedlicher Feuchte ermittelt. Meßergebnisse im Labor und unter Praxisbedingungen in einem mobilen Versuchsstand liegen in der Größenordnung der theoretischen Berechnung. Abschließend werden unter dem behandelten Gesichtspunkt Entwicklungstendenzen bewertet und weitere Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Verwendete Formelzeichen

A_B	mm ²	vom Preßdruck beaufschlagte Bindemitteloberfläche
F_{BH}	N	Haltekraft des Bindemittelendes an der Preßraumoberseite
F_{BN}	N	Bindemittelzugkraft (Nadel) an der Preßraumunterseite
F_{BO}	N	Reibkraft an der oberen Umlenkung
F_{BP}	N	Reibkraft zwischen dem fertigen und dem neuen Ballen
F_{BU}	N	Reibkraft an der unteren Umlenkung
$F_{R\text{spez.}}$	kN m/kg	spezifische Bindemittelreißfestigkeit
F_1, F_2	N	Seilkraft
M_B	Nm	Antriebsdrehmoment für die Bindeeinrichtung
b_B	mm	vom Preßdruck beaufschlagte Bindemittelbreite
b_{Band}	mm	Breite von Band als Bindemittel
d_B	mm	Bindemitteldurchmesser
h	mm	Preßraumhöhe
k	-	Faktor
l_B	m	Ballenlänge
l_{PR}	m	Ballenlänge im Preßraum zum Bindezeitpunkt
P_k	MPa	Kolbendruck
r	mm	Umlenkradius des Bindemittels an den Ballenkanten
u	-	Feuchtegehalt
α	rad	Bindemittelumlenkungswinkel
μ	-	Reibwert
φ_{Kn}	°	Drehwinkel der Knüpfervelle

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Wolf-Regett, K.-P.*: Verdichtung und Expansion von Halmgut. Grundl. Landtechnik Bd. 38 (1988) Nr. 2, S. 58/65.
- [2] *Zlenko, N.I.*: Fiziko - mechanicheskie svojstva spagata dlja pressovannogo sena (Mechanische Eigenschaften des Bindegarnes für gepreßtes Heu). Traktory i sel'chozmasiny (1972) Nr. 7, S. 28/29.
- [3] *Chrapac, D.I.*: Vlijanie nekotorych faktorov na koefficient trenie solomistych produktov (Einfluß einiger Faktoren auf den Reibungskoeffizienten von Strohprodukten). Sel'chozmasiny (1957) Nr. 6, S. 5/7.
- [4] *Zlenko, N.I.*: Issledovanie raboty mehanizmov vjazal' nogo apparata press-podbojka (Untersuchung der Mechanismen des Bindeapparates einer Aufsammelpresse). Trudy VIM (1976) Nr. 64, S. 106/12.
- [5] EP 0 199 615: Presse a balles parallelepipediques avec dispositif de reduction et de compensation de la tension du fil de liage.
- [6] OS 2 600 615 DE: Wandbildungsvorrichtung einer Ballenpresse.
- [7] OS 2 736 918 DE: Verfahren und Vorrichtung zum Binden von Ballen in einer landwirtschaftlichen Ballenpresse.
- [8] PS 4 142 746 US: Strand tying mechanism (Fadenbindemechanismus).
- [9] WP 254 516 DD: Verfahren zum Verbinden von Materialsträngen.