

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Welschhof, G.:* Der Ackerschlepper – Mittelpunkt der Landtechnik.
VDI-Bericht Nr. 407, S. 11/17; Düsseldorf: VDI-Verlag, 1981.
- [2] *Reich, R.:* Methoden zur Bestimmung des Betriebspunktes im Motorkennfeld.
Vortrag anlässlich der 40. Internationalen Tagung Landtechnik, Neu-Ulm, 28./29. Okt. 1982.
- [3] *Fischer, J.:* Untersuchung indirekter Meßmethoden für das Drehmoment an Dieselmotoren.
Studienarbeit am Inst. f. Agrartechnik der Universität Hohenheim, 1982.

- [4] *Keller, R.:* Hydrodynamische Kupplungen als Anlauf- und Schlupfkupplungen.
Antrieb mit Steuerung und Regelung – asr (1976) Nr. 3, S. 31/34.
- [5] ● *Bohl, W.:* Strömungsmaschinen (Aufbau und Wirkungsweise).
Würzburg: Vogel, 1978.
- [6] Technische Unterrichtung Diesel-Einspritzausrüstung (2).
Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 1975.
- [7] ● *Doering, E.:* Technische Wärmelehre.
Stuttgart: B.G. Teubner, 1968.

Netzbindung erhöht die Bergeleistung bei Großballenpressen

Von Gustav Ackermann, Marienfeld*)

DK 631.364.5

Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen konnten sich Großballenpressen schnell ihren Platz unter den Erntemaschinen erobern. Der Vorteil der Rundballenpressen ist, daß die Verdichtung des Gutes mit relativ geringen Drücken erzielt wird und eine hohe Bergeleistung erreichbar ist.

Die weitere Erhöhung der Bergeleistung ist möglich durch eine Verkürzung des Bindevorganges, der bei der bisher üblichen Garnbindung etwa 45 % der Arbeitszeit beansprucht und bei Netzbindung auf weniger als 20 % der Arbeitszeit vermindert wird.

1. Einleitung

Bei der Einführung von Großballenpressen benutzte man in Anlehnung an Kolbenpressen als Bindemittel das handelsübliche Bindemittel. Man erkannte aber bald, daß das nicht das optimale Verfahren sein und bleiben konnte. Ein neuer Weg wurde mit dem Netz als Bindemittel gefunden. Die beiden Verfahren sollen nachfolgend gegenübergestellt und verglichen werden.

2. Aufbau und Funktion von Großballenpressen

Bild 1 zeigt eine Übersicht über Form und Funktionsprinzip von Großballenpressen. In der oberen Reihe sind Funktionsprinzipien gezeigt, die im Markt mit unterschiedlichem Erfolg Bedeutung bekommen haben.

Die Howard-Großballenpresse ist im Jahre 1972 auf den Markt gekommen, wird aber seit ca. 1981 nicht mehr produziert. Die Hesston-Großballenpresse, die seit 8 Jahren auf dem Markt ist, wurde in den USA entwickelt und wird seit 1978 auch in Europa verkauft. In diese Gruppe gehört u.a. auch die hier nicht dargestellte Vicon-Presse.

Die beiden rechts oben dargestellten Pressen gehören der Vollständigkeit halber in diese zusammenfassende Systematik, werden aber in Bild 2 nochmals in einer umfangreicheren Zusammenstellung von Rundballenpressen gezeigt.

*) Dr.-Ing. G. Ackermann ist als Hauptabteilungsleiter unter anderem verantwortlich für die Entwicklung von Pick-up-Pressen in der Fa. Claas OHG, Harsewinkel.

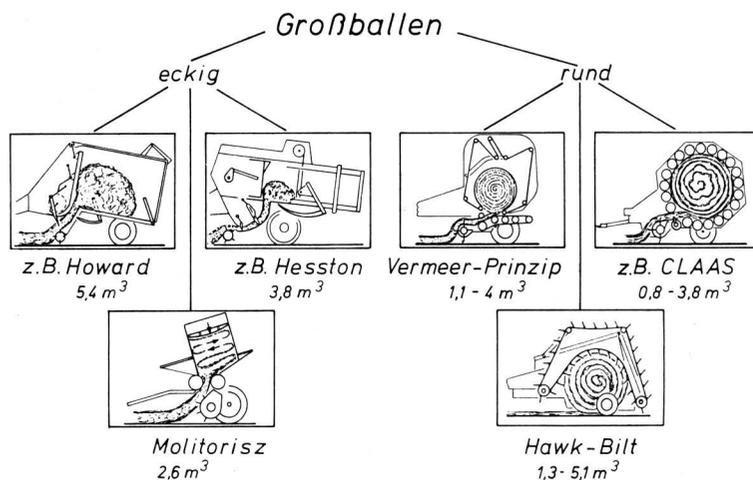


Bild 1. Übersicht über Verfahren zur Herstellung von Großballen.

In der unteren Reihe sind 2 Maschinen abgebildet, die weder in Europa noch in Nordamerika – wo sie entwickelt wurden – Bedeutung erlangt haben. Unten rechts ist das Hawk-Bilt-Prinzip gezeigt, bei dem das Material von den umlaufenden Zinkenbändern auf dem Boden aufgerollt wird. Hier ist kein geschlossener Wickelraum vorhanden. Die wesentlichen Nachteile dieses Prinzips liegen in der Verschmutzung des Erntegutes und in Schwierigkeiten beim Binden des Ballens. Bei dem links unten gezeigten Funktionsprinzip pendelt der gesamte Preßraum hin und her, wodurch sich eine Schichtung ergibt, wie man sie bei der Verpackung von Verbands-watte kennt. Dieses Prinzip ist jedoch bisher noch nicht funktions-reif.

Die ersten Rundballenpressen in Europa arbeiteten nach dem amerikanischen Vermeer-Prinzip, wie Bild 2 links in zwei Beispielen zeigt. Während der Arbeit vergrößert sich hier der Wickelraum bis zur gewünschten Ballengröße. Demgegenüber ist bei den drei rechts dargestellten Bauformen ein konstanter Wickelraum durch die Maschine vorgegeben.

Rundballenpressen

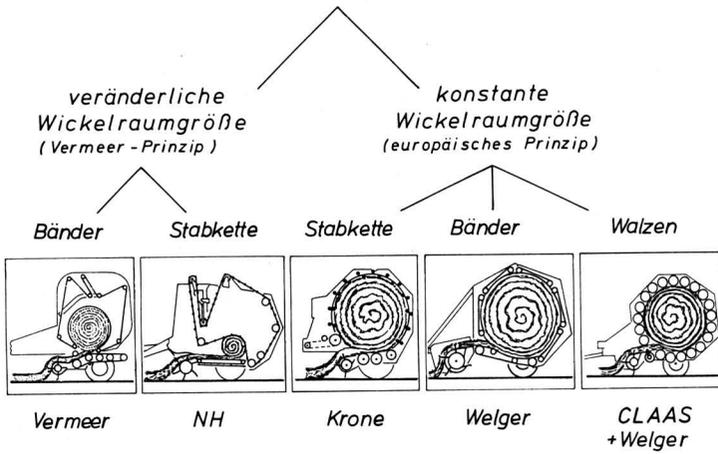


Bild 2. Bauformen von Rundballenpressen.

Während also bei dem linken Prinzip der Ballen wie bei einer Papierrolle von einem inneren Kern aus aufgerollt wird, die Verdichtung also innen beginnt, wird bei dem rechts gezeigten Prinzip das Material in einen vorgegebenen leeren Raum solange hineingefördert, bis es den Raum ausfüllt und anfängt zu drehen. Dann legt sich das weitere Material in Schichten rund um den Kern, d.h. es verdichtet sich von außen nach innen. Die Maschinen mit veränderlichem Wickelraum wurden anfänglich nur importiert. Ihre Marktbedeutung blieb begrenzt und wurde deutlich zurückgedrängt, als die Maschinen mit konstantem Wickelraum als europäische Entwicklung auf den Markt kamen.

3. Druck- und Dichteverhältnisse

Bild 3 gibt einen Überblick über den gesamten Dichtebereich, in dem heute landwirtschaftliche Güter verdichtet werden, hier am Beispiel von Topfpressen. Insbesondere die Darstellung mit der linear geteilten rechten Ordinate macht deutlich, wie stark die Drücke im Bereich höherer Dichten anwachsen müssen.

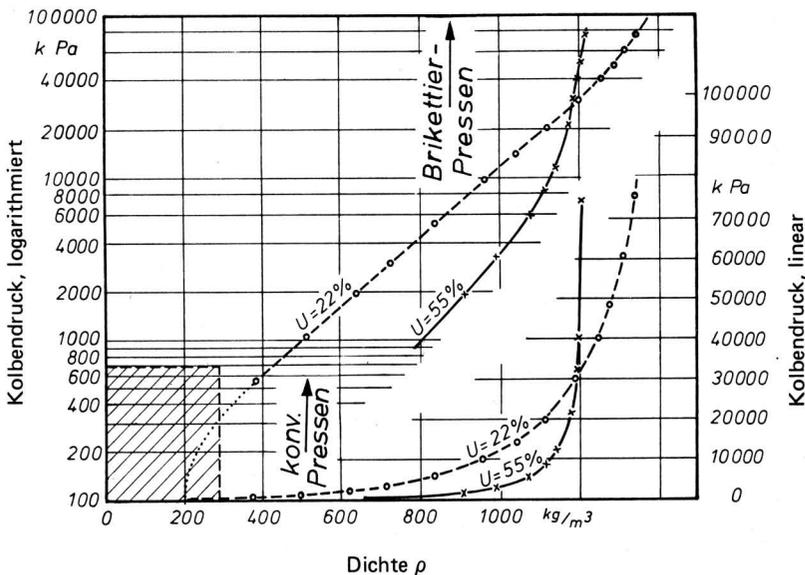


Bild 3. Verdichtungsbereiche landwirtschaftlicher Verdichtungsverfahren; schraffiert ist der Druck-Dichte-Bereich konventioneller Kolbenpressen.

Der bei konventionellen Pressen und bei Großballenpressen interessierende Druckbereich ist links im Bild schraffiert.

In der linearen Auftragung in Bild 4 wird deutlich, in welchem Dichtebereich die konventionellen und die Rundballenpressen arbeiten.

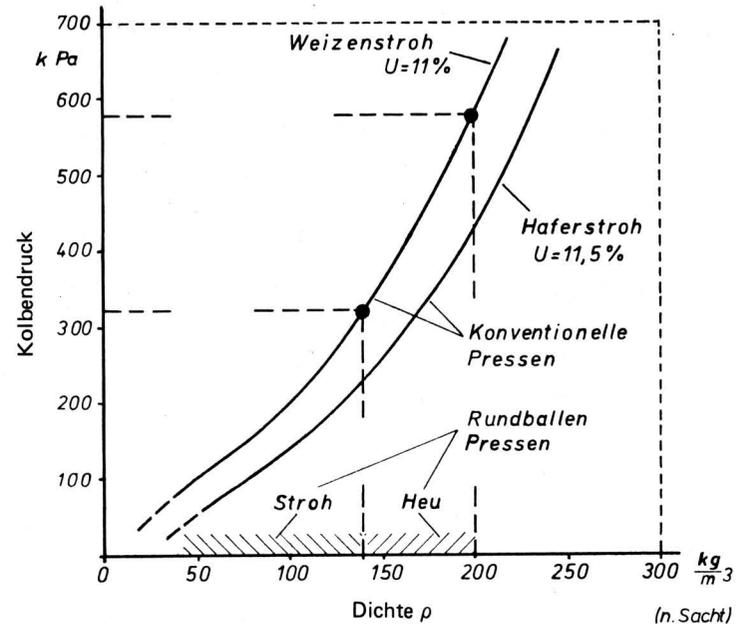


Bild 4. Druck-Dichte-Kurven für die Verdichtung verschiedener Stroharten in Topfpressen (nach Sacht); schraffiert ist der Bereich der Druck-Dichte-Verhältnisse in Rundballenpressen.

Diese Kurven nach Sacht [1] aus Preßtopfversuchen lassen erkennen, daß in begrenzten Druckbereichen für praktische Arbeitsvorgänge eine nahezu lineare Abhängigkeit zwischen Druck und Dichte unterstellt werden kann. Im Bereich zwischen den beiden Punkten bewegen sich die Drücke und Dichten konventioneller Strangpressen.

In einer anderen Untersuchung an großen Rundballen hat Sacht festgestellt, daß sich mit Rundballenpressen in Weizenstroh von 14 % Gutfeuchte bei Radialdrücken unter 18 kPa (0,18 kp/cm²) mittlere Ballendichten von 140 kg/m³ erreichen lassen. Dieser Bereich ist im Bild schraffiert.

Sacht hat darüber hinaus festgestellt, daß neben der Feuchtigkeit nicht nur der radiale Preßdruck, sondern auch die Verdichtungsgeschwindigkeit einen großen Einfluß auf die mittlere Ballendichte hat. Er führt die im Vergleich mit Topfpressen fast um eine Zehner-Potenz geringeren notwendigen Drücke auf die kontinuierliche Beschickung, das besser ausgerichtete Schwad und auf die längere verfügbare Verdichtungszeit zurück.

Andererseits muß berücksichtigt werden, daß die relativ niedrigen Druckwerte bei Rundballenpressen auch damit zusammenhängen, daß bei Strangpressen bei jedem Kolbenhub in einem hohen Maße Haft- und Gleitreibung überwunden werden müssen, während die Reibung bei Rundballenpressen im wesentlichen nur als Gleitreibung an den Seitenwänden auftritt.

Nach Messungen von Hesse u. Scheufler [2] mit Spitzendrucksonden an Rundballen wurden ebenfalls Dichten von max. 150 kg/m³ ermittelt.

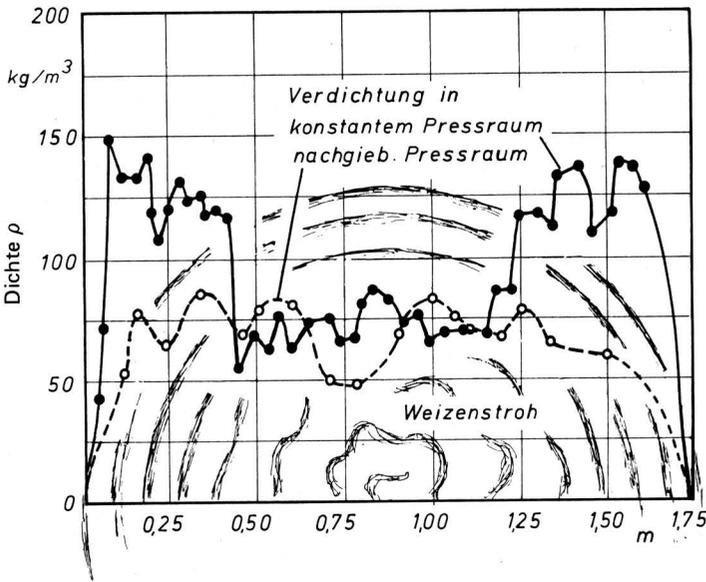


Bild 5. Dichteverteilung über dem Durchmesser von Rundballen bei unterschiedlich ausgebildetem Wickelraum; nach Hesse u. Scheufler [2].

Bild 5 zeigt den Dichteverlauf über dem Ballendurchmesser, und zwar gestrichelt für eine Presse mit veränderlichem und ausgezogen für eine Presse mit konstantem Wickelraum. Die beiden Kurven zeigen deutlich, daß Pressen mit einem konstanten Wickelraum höhere Dichten vor allem in den Außenschichten erwarten lassen.

4. Vor- und Nachteile von Rundballen

Bei der Frage nach dem großen Erfolg der Rundballenpressen muß auch gefragt werden, was denn an den konventionellen Pressen unbefriedigend war.

Wie immer sind es viele Faktoren, die eine Entwicklung beeinflussen:

- größere Schlepper verfügbar
- höherer Frontladeranteil bei Neukäufen
- abnehmende Verfügbarkeit von Handarbeitskräften
- der Wunsch, die Stoppelfelder schnell zu räumen, um Zwischenfrüchte oder Folgefrüchte einbringen zu können
- größere Gebäude
- Viehbestände mit größeren Herden
- Laufstallhaltung
- Silage in Plastiksäcken
- Maisstrohhbergung in einigen Exportmärkten etc.

Letztlich führen all diese Einflüsse zu einem arbeitswirtschaftlichen Wechsel von dem mit deutlich höherem Handarbeitsumfang verbundenen konventionellen Ballen zum nur noch mechanisch zu bewältigenden Rundballen, der ja immerhin ein Äquivalent zu 10 bis 25 konventionellen Ballen darstellt. Dieser Vorteil wird offensichtlich in der Landwirtschaft so hoch bewertet, daß z.B. im Hause Claas heute bereits ca. 60 % aller gefertigten Pressen Rundballenpressen sind.

Dennoch darf man den großen Nachteil nicht unerwähnt lassen, daß Rundballenpressen bis heute kein kontinuierliches Arbeiten gestatten. Bei jedem Ballen muß zum Binden angehalten werden.

Um in dieser Beziehung die Rundballenpressen zu verbessern, ihre Schlagkraft durch Vermindern der Verlustzeit zu erhöhen und den Fahrer zu entlasten, wurde die sogenannte Netzbindung entwickelt.

5. Entwicklung der Netzbindung

In **Bild 6** wird eine Rundballenpresse gezeigt, die sowohl mit der neuen Netzbindeeinrichtung als auch mit der bisher üblichen Garnbindeeinrichtung ausgestattet ist, die also wahlweise mit Netz oder mit Garn binden kann. Bei der Verwendung von Bindegarn läuft der Vorgang wie folgt ab: Der Druck in der Ballenkammer als Merkmal für die erreichte Ballendichte ist am Manometer vorn an der Maschine ablesbar. Bei der gewünschten Ballendichte hält der Schlepperfahrer die Maschine an und löst den Bindevorgang aus: Mit dem letzten von der Pick-up aufgenommenen Material wird das Bindegarn in die Ballenkammer eingezogen. Während der Ballen sich nun 12–15mal drehen muß, wird der Schlepper mit der Presse einige Meter rückwärts gesetzt. Ist der Wickelvorgang beendet, wird der Faden abgeschnitten, die Klappe geöffnet, und der Ballen kann herausrollen. Der Fahrer fährt vor, damit die Presse vom Ballen freikommt, dann wird die Klappe geschlossen und weitergefahren.

Trägt man den Bindevorgang über der Zeit auf, so ergibt sich der untere Balken von **Bild 7**.

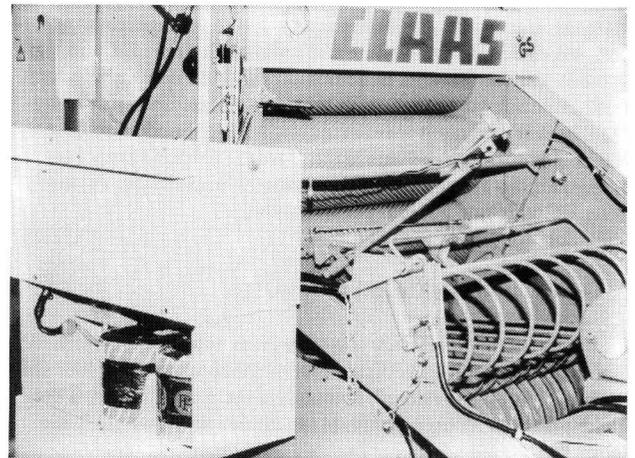


Bild 6. Rundballenpresse Claas-Rollant mit Garn- und Netzbindung.

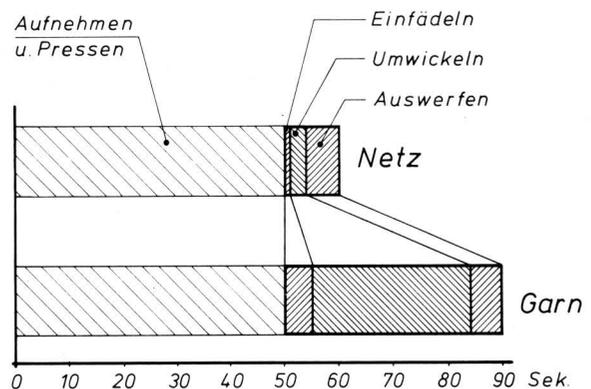


Bild 7. Zeitbedarf für das Binden von Rundballen; oben: Netzbindung, unten: Garnbindung.

Mit dem oberen Balken ist im gleichen Maßstab der Zeitbedarf für die Netzbindung aufgetragen. Wesentlich ist die Verkürzung der für das Umwickeln benötigten Zeit. Dieses wird ermöglicht durch die Eigenschaft des Netzes, sich im Halmgut und auch in sich selbst so gut zu verfangen, daß eine 1,5fache Umwicklung im Normalfall ausreicht.

Die verschiedenen neben- und nacheinander ablaufenden Vorgänge bei der Rollatex-Bindung (so nennt Claas die Netzbindung) sind in **Bild 8** über der Zeitachse aufgetragen. Diese Darstellung zeigt die Zeitanteile aller Einzelschritte sowie deren Überlappung, die bei der Automatisierung des Ablaufs zu beachten sind.

Die eingekreisten Zahlen bedeuten:

- 1 Lampe "Preßdruck erreicht" leuchtet auf;
- 2 Traktorkupplung treten;
- 3 Schlepper steht. (Pick-up und Raffer sind frei von Material);
Hydraulikventil des Schleppers wird auf "Heckklappe öffnen" gestellt. Dadurch werden zunächst die Netzzuführwalzen angetrieben;
- 4 Lampe "Bindung läuft" leuchtet;
- 5 Freilauf zwischen Kettentrieb und Netzzuführwalze tritt in Funktion. Netz wird vom Ballen eingezogen;
- 6 Ballen ist (entsprechend Einstellung) z.B. 1,5fach umwickelt;
Messer trennt Netz automatisch ab;
- 7 Lampe "Bindung läuft" geht aus;
- 8 Heckklappe öffnet automatisch;
- 9 Lampe "Preßdruck erreicht" geht aus;
- 10 Ballen rollt aus der Ballenkammer auf die Abrollholme;
- 11 Abrollholme liegen auf dem Boden;
Warndreieck wird sichtbar;
- 12 Ballen hat Abrollholme verlassen;
- 13 Abrollholme wieder oben;
- 14 Warndreieck weggeklappt und nicht mehr sichtbar;
- 15 Heckklappe schließt bei Umstellung des Schlepperventils auf "Klappe schließen";
- 16 Heckklappe ist zu;
- 17 Traktorkupplung loslassen;
- 18 volle Fahrgeschwindigkeit ist wieder erreicht.

An diesem Diagramm wird deutlich, daß eine Handbetätigung aller Funktionen nicht mehr sinnvoll und in der vorgesehenen Zeit auch nicht möglich ist. Es wurde deshalb eine elektronische Folgesteuerung entwickelt, die für den automatischen Ablauf aller Vorgänge sorgt.

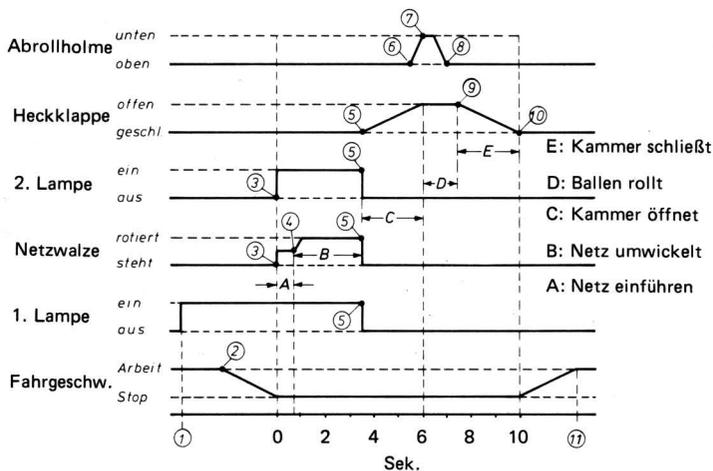


Bild 8. Ablaufanalyse der Vorgänge beim Binden von Rundballen mit Netz (Rollatex).

Die technische Ausführung wird aus **Bild 9** ersichtlich. An der rechten Maschinenseite befindet sich unter der Bedienungsplatte eine Netzrolle in Reserve und darunter der gewohnte Garnkasten. Je nach Kundenwunsch kann ein Lohnunternehmer so entweder die Garnbindung oder die Netzbindung wählen, wie zuvor erwähnt worden ist.



Bild 9. Rundballenpresse Claas-Rollant mit Rollatexbindung.

Im Garnkasten, **Bild 10**, ist der Elektronikbaustein untergebracht. Hier wird die Netzbindung ein- und ausgeschaltet, und die Länge des Netzes (1,5facher Ballenumfang oder mehr) kann mit einem Drehknopf vorgewählt werden. Die Zahl der Umdrehungen der Netzzuführwalzen wird elektronisch gezählt.

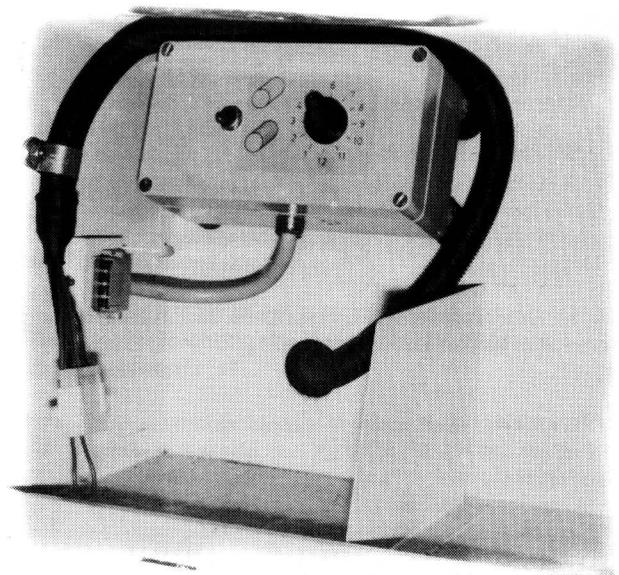


Bild 10. Elektronikbaustein zur Steuerung der Netzbindung im Garnkasten.

Bei der Arbeit werden die Komponenten nach **Bild 11** wie folgt wirksam:

Ist der gewünschte Innendruck in der Ballenkammer erreicht, so leuchtet das linke gelbe Licht an der Vorderseite der Maschine auf, was der Fahrer sehr deutlich im Rückspiegel erkennen kann. Er hält an und löst – wie an den Einzelschritten vorhin erläutert – durch Betätigen des Steuerventils am Schlepper den Bindevorgang aus, der dann vollautomatisch abläuft.

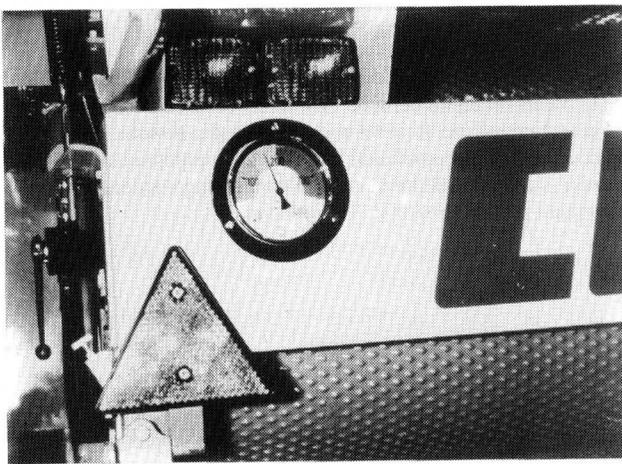


Bild 11. Manometer und Funktions-Leuchten an der Frontseite der Presse für die Information des Schlepperfahrers über den Ablauf des Preß- und Bindevorganges.

Der Hydraulikzylinder in **Bild 12** betätigt eine Kinematik, die den Kettenantrieb für die Netzzuführwalzen einkuppelt. Das zweite gelbe Licht schaltet ein, und die Einführ-Walzen führen auf der gesamten Ballenbreite das Netz zu, welches dann vom Ballen mitgenommen wird. Ist der am Elektronikbaustein eingestellte Umschlingungsgrad erreicht, so gibt die Automatik den Auslöser für die Schneideeinrichtung frei; ein scharfes Messer fällt, wie **Bild 13** zeigt, auf der gesamten Breite in das Netz und schneidet es ab.

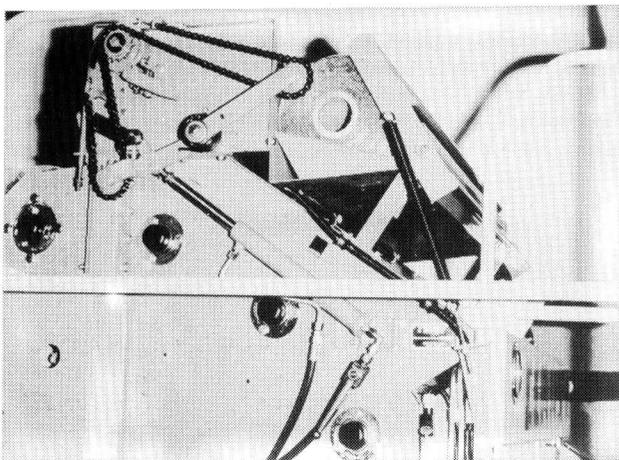


Bild 12. Druckzylinder und Kinematik für die Einführung des Netzes zum Binden des Rundballens.

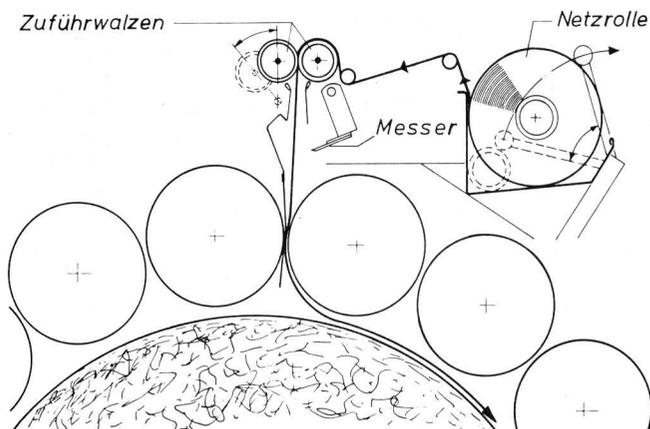


Bild 13. Führung des Binde-Netzes in der Rundballenpresse Claas-Rollant.

Automatisch wird dann die Heckklappe geöffnet. Sobald die Öffnung groß genug ist, **Bild 14**, rollt der Ballen heraus. Fällt dieser auf die Abrollholme, so klappt vorn das Warndreieck so lange hoch, bis der Ballen ganz abgerollt ist und die Abrollholme hochgeschwenkt sind. Das bedeutet, daß der Schlepperfahrer die hintere Klappe schließen und dann weiterfahren kann.

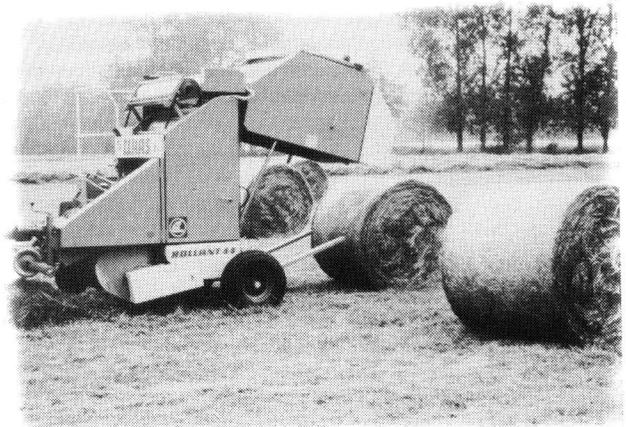


Bild 14. Mit Netz gebundener Ballen verläßt die Rundballenpresse Claas-Rollant.

6. Vorteile der Netzbindung

Der wirtschaftliche Vorteil gegenüber der Garnbindung wird aus der Zusammenstellung, **Tafel 1**, für einen Rundballen mit 1,20 m Durchmesser und 1,20 m Breite deutlich. Dabei sind folgende Annahmen gemacht:

- Polypropylen-Garn kostet 3,50 DM/kg, 12 Umdrehungen/Ballen
- Polyäthylen-Netz kostet 21,00 DM/kg, 1,5 Umdrehungen/Ballen.

		Art der Bindung	
		Garn	Netz
Kosten des Bindemittels	DM/Ballen	0,40	1,63
	stdl. Leistung	Ballen/h	40
Verrechnungssatz (Masch.-Ring)	DM/Ballen	7,00	7,00
	stdl. Erlös	DM/h	280,00
stdl. Kosten des Bindemittels	DM/h	16,00	98,00
	Vergleichserlös	DM/h	264,00

Tafel 1. Kostenvergleich zwischen Garn- und Netzbindung.

Wie die Tafel zeigt, ist trotz 4facher Bindemittelkosten je Ballen der Erlös für die Netzbindung ca. 60,00 DM pro Stunde höher. Bei ca. 5 Stunden/Tag an ca. 20 Arbeitstagen ergibt sich ein Mehrerlös von 6000 DM/Jahr. Es bleibt weiterhin abzuwarten, ob der zunehmende Bedarf eine Kostensenkung beim Netz bringen wird. Außer der höheren Wirtschaftlichkeit gibt es aber noch weitere, wichtige Vorteile:

das Wetterrisiko wird vermindert; Bröckelverluste werden stark vermindert, weil die Wickelzeit beim Binden auf 1/4 (von 40 auf 10 s) reduziert wird; der Verschleiß, besonders der Antriebe, wird geringer, weil das bei höchster Maschinenbeanspruchung und höchstem Ballendruck erfolgende Umwickeln statt 40 s nur 10 s dauert; die Ballenkontur und die Formstabilität der Ballen wird insbesondere bei kurzem Stroh oder Grummet sehr viel besser; die Weiterverarbeitung wird vereinfacht. So wird es beim Einstreuen sehr viel leichter, das Netz restlos zu entfernen; die Umstellung von Garnbindung auf Netzbindung ist ohne Zeitaufwand durch einen Schalter möglich.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Netzbindung erhöht bei Rundballenpressen die Wirtschaftlichkeit erheblich und bringt viele andere Vorteile. Wesentlich ist dabei, daß bei Verwendung von Kunststoffnetz statt Bindegarn der Ablauf stark verkürzt wird und durch Einführung einer elektronischen Folgesteuerung automatisiert werden konnte. Dadurch wer-

den manuelle Fehlbedienungen vermieden, und der Fahrer ermüdet weniger. Weitere Verbesserungen wären dann denkbar, wenn auch Kupplung und Bremse des Schleppers für das Anhalten in die elektronische Folgesteuerung des gesamten Ablaufes mit einbezogen würden. Bei dem damit erreichten Perfektionsgrad brauchte dann der Fahrer sich nur noch auf das Lenken zu konzentrieren. Es wäre allerdings ein Eingriff in wesentliche Elemente des Schleppers nötig, wodurch bedeutsame Fragen der Sicherheit, Garantie etc. aufgeworfen würden. Eine Realisierung dieses Schrittes scheint angesichts dieser und anderer Fragen heute noch nicht sinnvoll.

Schrifttum

- [1] *Sacht, H.O.*: Großballen-Rollpressen, ein neuer Weg für die Halmgutverdichtung. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 6, S. 201/205.
- [2] *Hesse, Th. u. B. Scheufler*: Dichtmessungen an Großballen mit Hilfe des Spitzendrucksondierverfahrens. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 3, S. 113/17.

Bewegung eines Knickschleppers unter Zugbelastung beim Kurvenfahren

Von Akira Oida, Niigata, Japan*)

DK 631.372:629.1.014

Allradschlepper mit Knicklenkung werden wegen ihrer Wendigkeit als Schmalspurschlepper im Wein-, Obst- und Gartenbau eingesetzt.

In einer früheren Arbeit wurde mit Hilfe der geometrischen Analyse die Bewegung des Schlepperrumpfes ohne Anbaugeräte untersucht. Hier dagegen wird die Bewegung des Knickschleppers mit angreifender Zugkraft in Abhängigkeit von konstruktiven Parametern (insb. Lage des Knick- und Schwerpunktes) und von betriebstechnischen Parametern (insb. Zugkraft, Reibungsbeiwert und Fahrgeschwindigkeit) ermittelt.

1. Einleitung

Ein Vorteil der Knickschlepper ist ihr sehr kleiner Wenderadius, so daß sie besonders dort eingesetzt werden, wo wenig Platz vorhanden ist, nämlich als Schmalspurschlepper im Gartenbau und in Obst- und Weinkulturen. Die Vorder- und Hinterräder des Knickschleppers laufen i. allg. beim Kurvenfahren in der gleichen Spur, so daß der Rollwiderstand des Knickschleppers kleiner als der eines Normalschleppers ist. Es ist aber die Frage zu stellen, ob die Vorder- und Hinterräder beim Kurvenfahren immer in der gleichen Spur laufen. Mit Hilfe der geometrischen Analyse zeigte *Oida* [1], daß die Spuren der Vorder- und Hinterräder nicht übereinstimmen, wenn der Drehzapfen nicht im Mittelpunkt zwischen der Vorder- und Hinterachse liegt.

*) *Dr. A. Oida* ist Dozent im Lab. für Landmaschinen der Universität Niigata und arbeitete von Febr. 1977 bis Febr. 1978 im Institut für Landmaschinen (damaliger Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Söhne) der TU München als Stipendiat der Alexander von Humboldt-Stiftung.

Dudzinski [2] hat die Lenkbewegung eines Fahrzeugs mit Knicklenkung im Stand dynamisch analysiert. Beim wirklichen Kurvenfahren gibt es eine zum Momentanpol gerichtete Beschleunigung, wobei die resultierende Zentrifugalkraft im Schwerpunkt wirkt und an jedem Reifen eine gegen die Zentrifugalkraft gerichtete Seitenkraft ("cornering force") angreift. Das bedeutet, daß die Fahrspur auch durch den Schräglauf verändert wird. *Oida* [3] hat den Schräglauf des Knickschleppers auch ohne eine äußere Kraft wie die Zugkraft untersucht. In diesem Aufsatz wird der Vorgang des Schräglaufs eines Knickschleppers mit willkürlich gerichteter Zugkraft beim Kurvenfahren analysiert.

2. Bewegungsgleichung des Knickschleppers beim Kurvenfahren

Anders als beim Normalschlepper bewegt sich der Schwerpunkt des Knickschleppers gemäß dem Knickwinkel. Im Fall des im Versuch verwendeten Knickschleppers liegen die Schwerpunkte von Vorder- und Hinterteil nahe dem Mittelpunkt der jeweiligen Achse. Dies wurde gemessen. Ein x, y-Koordinatensystem, dessen Ursprung im Gesamtschwerpunkt 0 auf der die Mittelpunkte der beiden Achsen verbindenden Linie liegt, wird deshalb am Knickschlepper als Ortskoordinatensystem festgelegt, **Bild 1**.

Wenn der Schwerpunkt einen Schräglaufwinkel β und eine Winkelgeschwindigkeit ω hat, tritt eine Beschleunigung $v(\beta + \omega)$ in Richtung auf den Momentanpol bzw. quer zur Fahrtrichtung für kleine Schräglaufwinkel auf [3]. Jeder Reifen hat ebenfalls einen Schräglaufwinkel, der von β und ω abhängig ist. Bei Schräglauf wirkt eine Seitenkraft auf jeden Reifen in einer zur Bewegungsrichtung senkrechten Richtung oder senkrecht zur Reifenebene, wenn der Schräglaufwinkel klein ist.

Unter Berücksichtigung obiger Zustände lassen sich die Bewegungsgleichungen des Knickschleppers in der Ebene wie folgt angeben: In x-Richtung: