

Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT
FACHGEMEINSCHAFT LANDMASCHINEN IM VDMA
MAX EYTH-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER LANDTECHNIK

Heft 1/1957

MÜNCHEN

7. JAHRGANG

Dr.-Ing. F. Wieneke, Köln:

Untersuchungen zur Erklärung und Beseitigung von Wicklerscheinungen an umlaufenden Maschinenteilen

Unter Wickeln soll im vorliegenden Bericht das Umschlingen von umlaufenden Maschinenteilen mit Pflanzen- und Faserstoffen wie Stroh, Heu, Grüngut, Wolle oder Sisal verstanden sein.

Wicklerscheinungen sind besonders bei den Maschinen und Geräten des Landmaschinenbaues, bei Spinnerei- und Webereimaschinen anzutreffen. So wickelt zum Beispiel der rotierende Halmteiler des Mähbinders (Abb. 1), die Einlegewalzen der Häcksler, die Trommel der Dreschmaschinen und die Lagerstellen von Maschinen (Abb. 2).

Da die umwickelten Elemente in den meisten Fällen in ihrer Funktionsweise behindert werden, ist das Wickeln unerwünscht. Das Wickeln kann daneben zu Unfällen führen, wenn die Kleidung des Bedienungspersonals von rotierenden Maschinenteilen erfaßt wird, beispielsweise an Zapfwellen. In den nachstehenden Ausführungen¹⁾ sollen die Ursachen des Wickelns aufgedeckt und Maßnahmen angegeben werden, wie das Wickeln vermieden oder zumindest die Neigung zum Wickeln herabgesetzt werden soll.

Einflußgrößen

Auf den Wickelvorgang haben folgende Faktoren einen Einfluß:

1. Beschaffenheit des Wickelgutes,
2. Rauigkeit der Wellen oder der umlaufenden Maschinenteile,
3. Umfangsgeschwindigkeit,
4. Durchmesser der Wellen,
5. Wasser, Öl, Fett,
6. äußere Kräfte, hervorgerufen z. B. durch Wind oder Stauwirkungen des Gutes.

Da das Wickelproblem in vielen Fällen ein Reibungsproblem darstellt, erscheint es zweckmäßig, die Wicklerscheinungen nach den verschiedenen Reibungsformen zu untersuchen. So werden behandelt:

1. das Wickeln bei trockener Reibung,
2. das Wickeln bei gemischter Reibung,
3. das Wickeln bei flüssiger Reibung.

¹⁾ Die Untersuchungen wurden am Institut für Landmaschinen der Technischen Hochschule Braunschweig (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. Segler) mit Unterstützung durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durchgeführt.



Abb. 1 (links): Wickeln am rotierenden Halmteiler
Abb. 2 (rechts): Wickeln am Lager eines Heuwenders

Das Wickeln bei trockener Reibung

Überlegungen über die Möglichkeit des Wickelns überhaupt lassen erkennen, daß ein starrer Körper nicht wickeln kann. Es muß vielmehr eine gewisse Verformbarkeit des Stoffes vorhanden sein. Je größer sie ist, desto leichter kann das drehende Element umschlungen werden. Ein Maß für die Verformbarkeit ist die Biegesteifigkeit $E \cdot I$, wobei E den Elastizitätsmodul und I das Trägheitsmoment gegen Biegung bedeutet.

Liegt ein biegeweicher Faden auf einer sich drehenden Welle auf (Abb. 3a), so wird durch das Eigengewicht des Fadens

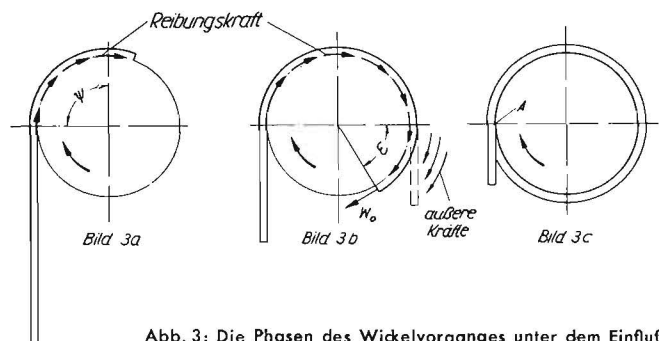


Abb. 3: Die Phasen des Wickelvorganges unter dem Einfluß äußerer Kräfte bei trockener Reibung

eine Reibungskraft erzeugt, die den Faden bei genügend großem Aufwagewinkel unter Schlupf fördert. Bei einem Aufwagewinkel von 180° fällt die Fadenspitze wieder ab (Abb. 3b). Zum Wickeln bedarf es einer äußeren Kraft W , die den Faden auch im unteren Bereich an der Welle hält, wenn man ein Festhaken oder Kleben des Fadens ausschließt. Diese äußere Kraft kann durch Stauwirkungen des Gutes oder durch den Wind hervorgerufen werden. Im Punkt A (Abb. 3c) wird dann die Fadenspitze in den meisten Fällen überwickelt; der Faden rollt sich auf.

Die zum Wickeln notwendigen äußeren Kräfte wurden auf eine an der Fadenspitze angreifende Kraft W_0 transformiert. Die Kraft W_0 stellt ein Maß für die Wickelneigung dar. Stoffe, die sich bei geringer äußerer Kraft W_0 schon an die Welle legen, wickeln leicht und umgekehrt. Die zum Wickeln notwendige äußere Kraft ergibt sich bei biegeweichem Gut ($E \cdot I = 0$) zu

$$W_0 = q \cdot R \left[e^{\mu \pi/2} \cdot e^{-\mu \epsilon} (1 - \cos \varrho) - \sin(\epsilon + \varrho) \right] \quad (1)^*$$

wobei

- q = Eigengewicht des Wickelstoffes pro Längeneinheit
- R = Radius der Welle
- $\mu = \tan \varrho; 2 =$ Reibungswert zwischen Welle und Wickelgut
- ϵ = Winkel (Abb. 3b)

bedeutet [1].

In Abbildung 4 ist die Wickelkraft nach Gleichung (1) durch das Produkt $q \cdot R$ dimensionslos gemacht und über dem Reibungswert aufgetragen. Für biegesteifes Gut, bei dem die Fadenspitze nicht zur Auflage kommt (Abb. 5), ergibt sich die zum Wickeln notwendige äußere Kraft K_a :

$$K_a = k_a \cdot x = \frac{2 E \cdot I}{R \cdot x} + q \cdot x \sin \epsilon \quad (2)^*$$

* Ableitung der Gleichungen 1 u. 2 sind in [1] nachzulesen.

$$W_0 = q \cdot R \left[e^{\mu \pi/2} \cdot e^{-\mu \epsilon} (1 - \cos \varrho) - \sin(\epsilon + \varrho) \right]$$

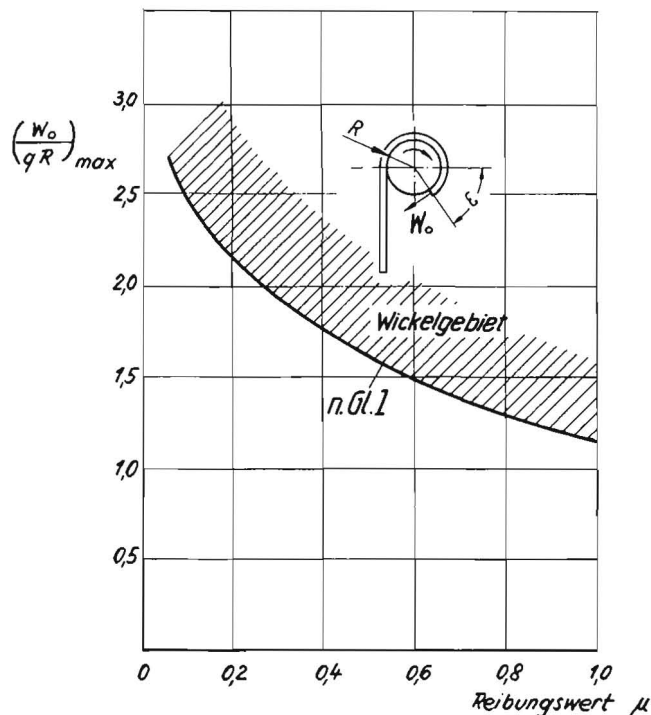
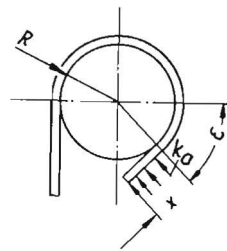


Abb. 4: Abhängigkeit der zum Wickeln erforderlichen äußeren Kraft W_0 vom Reibungswert μ
bei biegeweichem Wickelgut $EJ = 0$
 q = Fadengewicht pro Längeneinheit
 R = Radius der Welle



$$K_a \cdot k_a \cdot x = \frac{2 E \cdot I}{R \cdot x} + q \cdot x \sin \epsilon$$

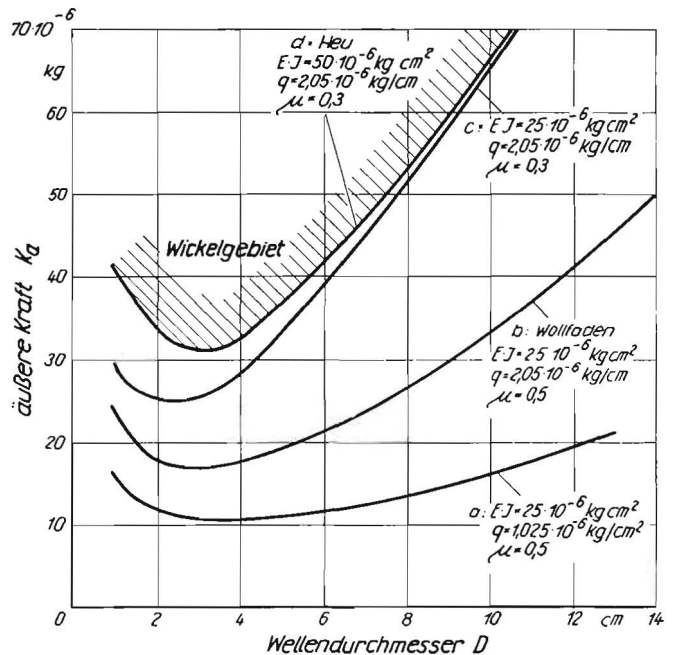


Abb. 5: Abhängigkeit der zum Wickeln erforderlichen äußeren Kraft K_a vom Wellendurchmesser
 EJ = Biegesteifigkeit
 q = Fadengewicht pro Längeneinheit
 μ = Reibungswert

mit

$$x = \frac{R \left[e^{\mu \pi/2} \cdot e^{-\mu \epsilon} (1 + \cos \varrho) - \sin(\epsilon + \varrho) \right]}{2 \cos \epsilon}$$

$$+ \sqrt{\left\{ \frac{R \left[e^{\mu \pi/2} \cdot e^{-\mu \epsilon} (1 + \cos \varrho) - \sin(\epsilon + \varrho) \right]^2}{2 \cos \epsilon} - \frac{2 E \cdot I \cdot \mu}{R \cdot q \cos \epsilon} \right\}}$$

wobei

- x = Länge der nicht zur Anlage kommenden Fadenspitze
- k_a = Zusatzkraft pro Längeneinheit

bedeutet.

Einfluß des Wellendurchmessers

Bei biegeweichen Stoffen — dieser Zustand liegt nahezu vor, wenn z. B. Halme, Stengel und Blätter sehr oft geknickt und zerschlagen sind — nimmt die Wickelneigung, die umgekehrt proportional der Kraft W_0 ist, nach Gleichung (1) mit größer werdendem Wellendurchmesser linear ab.

Bei Material mit einer gewissen Biegesteifigkeit dagegen gibt es einen Durchmesser (Abb. 5), der besonders leicht wickelt. Mit größer werdendem Wellendurchmesser nimmt die Wickelneigung ab, da das Gewicht, das im unteren Wellenbereich an der Welle gehalten werden muß, mit dem Radius wächst. Ebenso neigen kleine Wellendurchmesser nicht zum Wickeln, da Stoffe mit einer gewissen Biegesteifigkeit sich schwerer um kleine Radien legen lassen.

Will man der Wickelgefahr durch Änderung des Wellendurchmessers begegnen, so empfiehlt es sich jedoch, in jedem Fall einen größeren Durchmesser zu wählen, da durch Knicken und Zerschlagen des Gutes die Biegesteifigkeit nahezu aufgehoben werden kann und dann, wie schon erwähnt, die Neigung zum Wickeln mit kleinerem Durchmesser ansteigt.

Einfluß des Reibungswertes

Den Einfluß des Reibungswertes auf den Wickelvorgang gibt Abbildung 4 und 5 (Kurve b und c) wieder. Die Wickelkraft nimmt mit wachsendem Reibungswert ab. Das bedeutet, daß Stoffe mit höherem Reibungswert leichter wickeln.

Einfluß der Biegesteifigkeit des Gutes

Die Wickelneigung eines Stoffes nimmt mit kleiner werdender Biegesteifigkeit zu, was leicht einzusehen ist, da biegeweiche Stoffe sich leichter anschmiegen.

Einfluß des Eigengewichtes der Wickelstoffe

Ein Gut mit geringem Eigengewicht wickelt leichter als ein schwerer Stoff bei sonst gleicher Beschaffenheit (Gleichung (1) und Abb. 5, Kurve a und b).

Einfluß der Rauigkeit der Wellenoberfläche, der Wellenumfangsgeschwindigkeit und der Reibzeit

Der Einfluß dieser Faktoren auf den Wickelvorgang läßt sich am einfachsten durch die Bestimmung des Reibungswertes ermitteln [2]; die Wirkung des Reibungswertes auf die Wickelneigung ist nach dem Vorstehenden bekannt. Das Wickelproblem wird zum Reibungsproblem.

Bei den Versuchen mit verschiedenen Rauigkeiten ergab die glatte Welle höhere Reibungswerte als eine grobgedrehte Welle (Abb. 6), da sich auf glatten Wellen durch Abrieb und Verschmutzungen leicht ein Schmierfilm ausbildet. Außerdem treten vermutlich bei glatter Oberfläche Saug- und Adhäsionswirkungen auf. Gedrehte Wellen haben eine kleinere und rauhere Tragfläche, in deren Tälern sich der Abrieb sammeln kann, ohne daß ein zusammenhängender Schmierfilm erzeugt wird. Es läßt sich also die Wickelgefahr durch besonders glatte Wellen nicht vermindern, wie man vielleicht vermuten möchte. Es wurden Versuche mit Schmirgelleinen durchgeführt, um den Einfluß von Kornrauigkeiten einzubeziehen. Dabei ergab sich eine maximale Rauigkeitswirkung im Bereich einer Körnung $k = 120$. Wellen in diesem Rauigkeitsbereich neigen somit besonders stark zum Wickeln. Von erheblichem Einfluß ist ferner die Reibzeit. Mit längerer Reibzeit bildet sich bei Wolle, Stroh und Heu durch den Austritt von Feuchte oder Fett ein Schmierfilm, der zu höheren Reibungskräften, in manchen Fällen zum Kleben führt. Wenn dieses Wickelgut also längere Zeit auf einer umlaufenden Welle liegt, besteht so die Möglichkeit, daß es mitgenommen wird und wickelt.

Für behaartes und flusiges Gut wurden relativ hohe Reibungswerte ermittelt, die den Wickelvorgang begünstigen. Von geringerem Einfluß ist die Gleitgeschwindigkeit, die sich unter Berücksichtigung des beim Wickelvorgang auftretenden Schlupfes aus der Umfangsgeschwindigkeit der Welle ergibt, solange durch die Rotation noch kein nennenswertes Windprofil erzeugt wird, welches das Wickeln unterstützt. Bei Heu und Stroh nimmt der Reibungswert und damit die Wickelgefahr bei kleinen Geschwindigkeiten stärker, bei größeren Geschwindigkeiten geringfügig zu. Bei behaarten und flusigen Stoffen nimmt sie mit der Gleitgeschwindigkeit ab.

Einfluß der vegetativen Feuchte

Das von den lebenden Zellen der Pflanze gehaltene Wasser, die vegetative Feuchte, beeinflusst in starkem Maße den Reibungswert und die Biegesteifigkeit des Gutes (Abb. 7). Die vegetative Feuchte tritt erst bei hohen Auflagedrücken des Gutes aus oder wenn durch sehr rauhe Wellen die Zellen beschädigt werden. Die Versuchswerte in Bild 7 wurden so gewonnen, daß ein Austritt des Zellwassers vermieden wurde. Bei großer vegetativer Feuchte ist das Blatt „prall“. Die feinen Härchen und Kanten kommen stärker zur Wirkung und haben einen hohen Reibungswert zur Folge. Mit eintretender Erschlaffung der Blattoberfläche verlieren die Kanten und feinen Härchen an Wirksamkeit, der Reibungswert fällt ab. Besonders stark ist der Abfall im Welkbereich von $F = 30$ bis 40 % H_2O -Gehalt.

In ähnlicher Weise hat die Feuchtigkeit auch einen Einfluß auf die Biegesteifigkeit. Während sowohl sehr grünes als

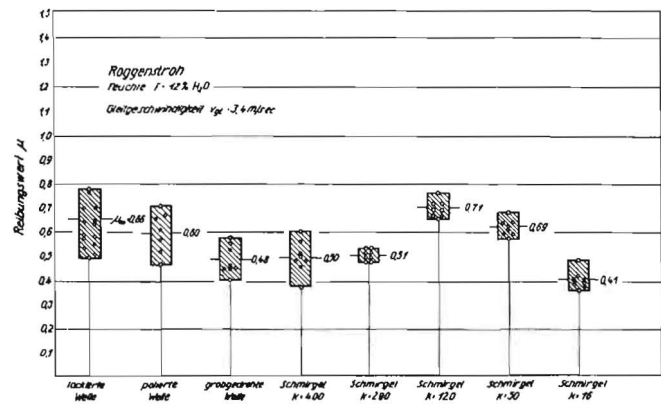


Abb. 6: Einfluß der Wellenrauigkeit auf den Reibungswert
Gleitgeschwindigkeit $v_{gl} = 3,4$ m/sec

auch trockenes Gut eine hohe Biegesteifigkeit besitzt, ist das weiche Gut biegeweich, was durch die Strukturveränderung der Zellen zu erklären ist.

Diese besondere Abhängigkeit des Reibungswertes und der Biegesteifigkeit von der Feuchte bedingt, daß das Gut im Welkbereich besonders stark zum Wickeln neigt. Die in Abbildung 7 aufgetragene Wickelkraft K_a nach Gleichung (2a)

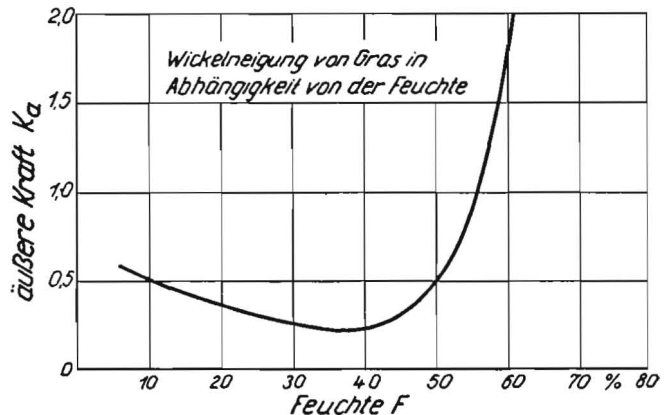
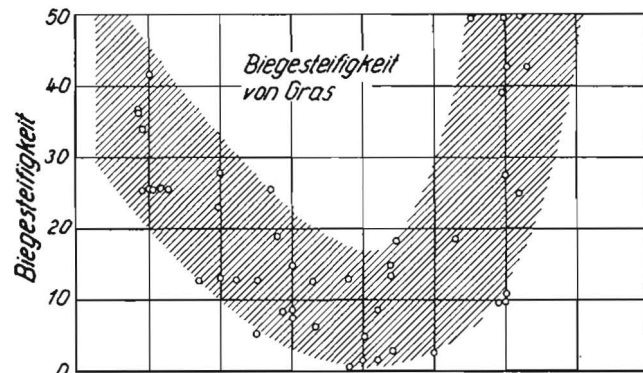
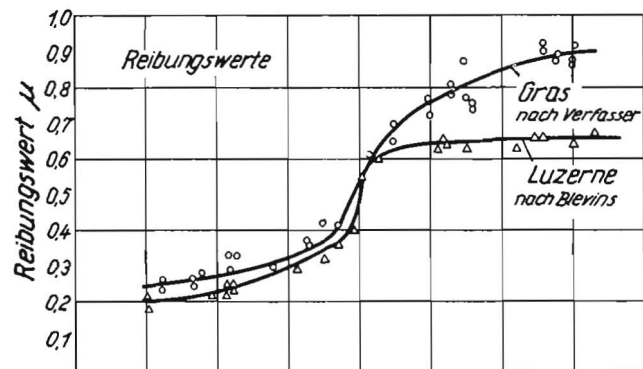


Abb. 7: Einfluß der vegetativen Feuchte auf den Reibungswert, die Biegesteifigkeit und die zum Wickeln erforderliche äußere Kraft K_a

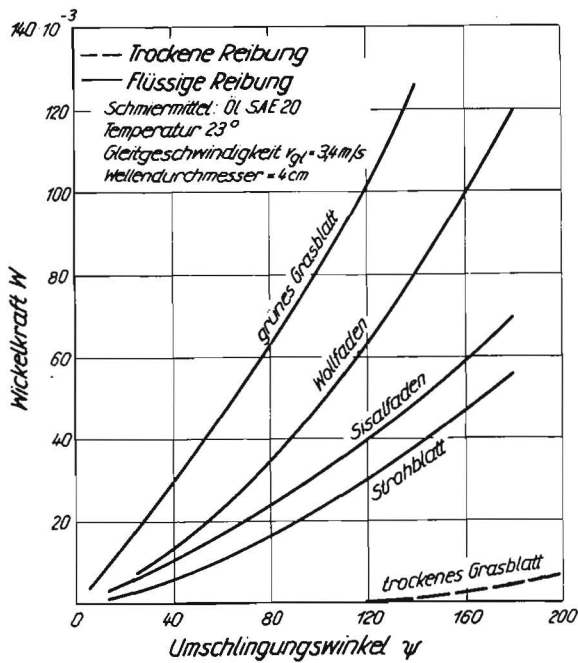


Abb. 8: Abhängigkeit der Wickelkraft bei flüssiger und trockener Reibung vom Umschlingungswinkel ψ



Abb. 9: Festgehackte Fäden auf rauher Oberfläche (Schmirgel $K = 280$)

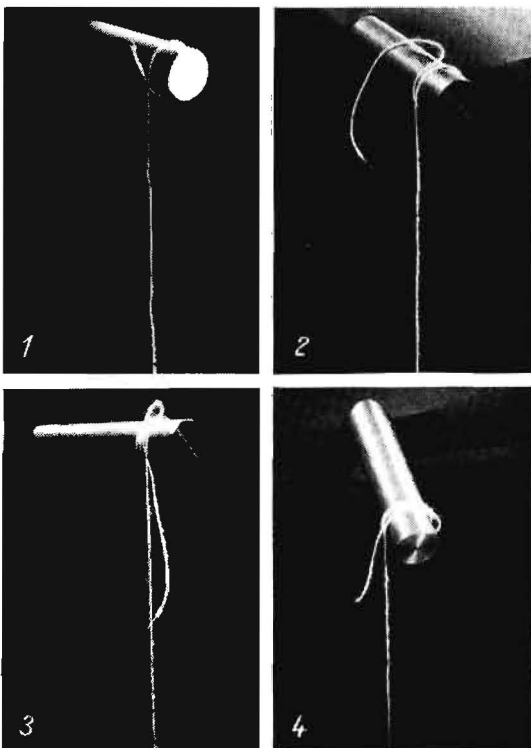


Abb. 10: Stadien des Wickelvorganges auf rauher Welle

hat im Bereich von 30 bis 50 % ein Minimum. Das bedeutet, daß dort die Wickelneigung im Wellbereich am größten ist. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit den Erfahrungen der Praxis und eigenen Versuchen.

Das Wickeln bei gemischter Reibung

Unter gemischter Reibung versteht man bekanntlich den Übergangszustand zwischen trockener und flüssiger Reibung, für den es charakteristisch ist, daß sich trotz Vorhandensein von Flüssigkeit kein tragender „Schmierfilm“ ausbildet. Es kommt also nur zu einer teilweisen Berührung der Reibungsstoffe.

Das von außen in eine bereits abgestorbene Zelle eingedrungene Quellwasser kann bei geringem Auflagedruck austreten und bei der Bewegung einen nicht zusammenhängenden Schmierfilm erzeugen. Ebenso können Wasser- oder Tautropfen, die am Gut haften, zur teilweise flüssigen Reibung führen. Durch den Abrieb und durch die Verdunstung des Wassers infolge der auftretenden Reibungswärme wird der Schmierfilm zäher und führt zum Kleben und Haften und damit zum Wickeln des Gutes mit dem sich drehenden Maschinenteil.

Das Wickeln bei flüssiger Reibung

Bei der flüssigen Reibung, bei der ein Schmiermittel wie Wasser, Öl oder Fett zwischen das rotierende Maschinenteil und das Gut tritt, werden sehr hohe Reibungskräfte hervorgerufen (Abb. 8). Sie liegen um ein Vielfaches höher als bei der trockenen Reibung und bewirken schon bei einem Berührungsbogen von 10 bis 20° eine Mitnahme von Faser- und Pflanzenstoffen. Die Zähigkeit des Schmiermittels ist in den meisten Fällen so groß, daß ein Abfallen des Gutes im unteren Wellenbereich nicht eintritt. Es kann somit gesagt werden, daß Faser- und Pflanzenstoffe fast immer wickeln, wenn sie mit Wasser, Öl und Fett in Berührung kommen, vorausgesetzt, daß die Biegesteifigkeit nicht zu groß ist.

Die Rauigkeit der Wellen macht sich bei der flüssigen Reibung auf die Wickelkräfte kaum bemerkbar. Bei Öl und Fett liegt sie meistens innerhalb der Schmierfilmdicke und wird nicht wirksam. Bei Wasser kann es dagegen bei ungenügender Benetzung zu einer gemischten Reibung kommen, wie sie schon beschrieben wurde.

Die Verunreinigung von Wellen mit Fett- oder Öl-Staubgemischen hat die größten Reibungswerte von $\mu = 2,0$ bis 3,0 zur Folge. Es konnte festgestellt werden, daß dann in jedem Falle ein Kleben des Gutes und damit ein Wickeln auftrat.

Das Wickeln durch mechanische Mitnahme

In sehr vielen Fällen liegt die Ursache des Wickelns in der mechanischen Mitnahme des Gutes begründet. Wenn die Oberflächenrauigkeit der Wellen und der sich drehenden Teile genügend groß ist, hakt sich das Gut fest und wird mitgenommen. Außer dem Festhaken kann auch ein Festklemmen des Gutes zwischen den Rauigkeitserhebungen eintreten. Abbildung 9 zeigt durch Schmirgelleinen festgehackte und eingeklemmte Fäden. In Abbildung 10 sind die Stadien des Wickelvorganges auf rauher Welle dargestellt.

Als Wellen mit extremen Rauigkeiten kann man in bezug auf den Wickelvorgang die profilierten Wellen bezeichnen. Es wurden die in Abbildung 11 dargestellten Profilwellen auf ihre Neigung zum Wickeln untersucht. Dabei ergab sich, daß die Wellen A und B bei lufttrockenen Faser- und Pflanzenstoffen am leichtesten wickeln, während die Welle D als besonders wickelsicher bezeichnet werden kann. Die Profile E, F, G finden Verwendung bei Gelenk- und Zapfwellen. Von diesen erwies sich das Profil G als am wickelsichersten. Bei Profilwellen kommt es also darauf an, durch die Abrundung der Kanten die Wickelgefahr herabzusetzen. Die verschiedenen Faktoren, wie Wellendurchmesser, Reibungswert, Biegesteifigkeit und Eigengewicht des Wickelstoffes beeinflussen hier in analoger Weise den Wickelvorgang, wie er bereits beschrieben wurde.

Bei grünem und feuchtem Gut kann durch hohe Pressung die vegetative Feuchte oder das aufgenommene Wasser

austreten. Hier empfiehlt es sich, ein Profil zu verwenden, das dem Gut eine möglichst kleine Reibungsfläche bietet, da dann die Reibungskraft mit der Auflagefläche wächst. So wird zum Beispiel das Profil B für die Einzugsrollen von Häckslern verwandt, das zwar leicht wickelt, aber bei großen Preßdrücken das Gut durchschneidet und sich so freiarbeitet. Von manchen rotierenden Wellen, die nicht wickeln sollen, verlangt man eine gute Förderwirkung, beispielsweise beim rotierenden Halnteiler. Da der Mitnahmevorgang oder der Fördervorgang den ersten Schritt des Wickelns darstellt, stehen sich diese beiden Forderungen entgegen. Man erreicht eine zufriedenstellende Kompromißlösung dadurch, daß man für diese Förderrollen einen möglichst großen Durchmesser wählt, der die Wickelgefahr herabsetzt und am Umfang halbkreisförmige oder halbelliptische Spiralen anbringt, die eine genügende Förderwirkung besitzen.

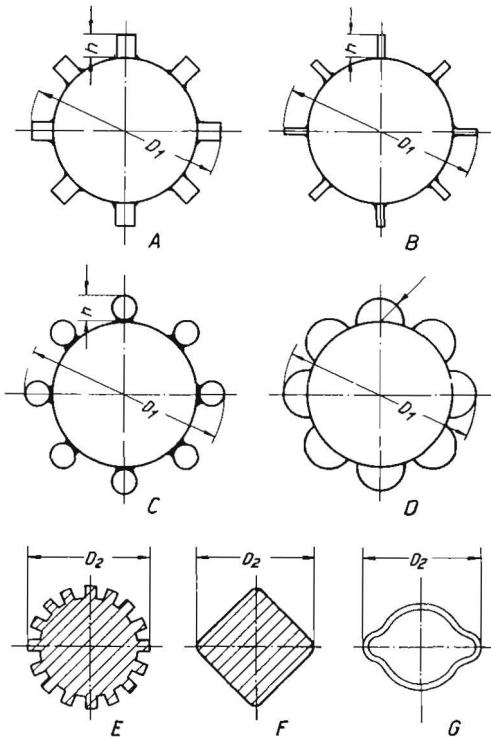


Abb. 11: Auf Wickelneigung untersuchte Profilwellen
 Profilwellen A, B, C, D für das Fördern von Pflanzen- und Faserstoffen,
 Profilwellen E, F, G zur Drehmomentenübertragung
 $D_1 = 90 \text{ mm}$, $D_2 = 35 \text{ mm}$, $h = 9 \text{ mm}$

Das Wickeln durch Wind

Durch die Rotation einer Welle wird die umgebende Luft mitgenommen. Es bildet sich ein Strömungsfeld aus, das den Wickelvorgang bei hohen Wellenumfangsgeschwindigkeiten erheblich beeinflussen kann. Das Geschwindigkeitsprofil stellt theoretisch einen Potentialwirbel dar. Wie Abb. 12 zeigt, liegen die Meßwerte erheblich unter der theoretischen Kurve, was sich vielleicht durch die endliche Länge der Versuchswellen erklären läßt. Kommt nun eine schnell umlaufende Welle oder Trommel mit Fasern, Fäden, Blättern oder Halmen in Berührung, so werden diese durch die Reibung auf der Welle und durch den Wind mitgenommen. Das im unteren Wellenbereich herabhängende Fadenende wird vom Wind angeblasen, an die Welle gedrückt, so am Abfallen gehindert und um die Welle gefördert (Abb. 13).

In Abbildung 14 sind für verschiedene Stoffe die Wellenumfangsgeschwindigkeiten angegeben, bei denen das erzeugte Windprofil zum Wickeln führt. Die Kurven treffen für das bei den Versuchen verwandte Material zu. Infolge der unterschiedlichen Beschaffenheit des Gutes ist ein großer Streubereich möglich.

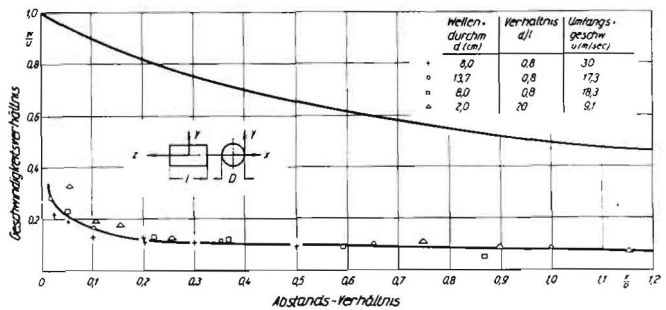


Abb. 12: Geschwindigkeitsprofil um rotierende Wellen
 grob gedreht; Meßpunkt: Mitte Welle
 w = Windgeschwindigkeit; u = Umfangsgeschwindigkeit
 der Welle; x = Abstand des Meßpunktes von der Welle;
 R = Radius der Welle

Kennzeichnung des Wickelgutes

Die Wickelneigung eines Gutes läßt sich durch folgende Größen, wie sie auch in Gleichung (1) und (2) eingehen, kennzeichnen:

1. durch das Eigengewicht pro Längeneinheit q ,
2. durch die Biegesteifigkeit $E \cdot I$,
3. durch den Reibungswert μ .

Das Eigengewicht q und die Biegesteifigkeit $E \cdot I$ sind Materialkonstanten, während sich der Reibungswert aus der Paarung von Wickelgut und Welle ergibt. Das Eigengewicht q und die Biegesteifigkeit $E \cdot I$ sind für die untersuchten Stoffe in Tabelle 1 wiedergegeben. Da der Halmdurchmesser, die Blattstärke und -breite, die Form des Querschnittes und die Struktur der Zellen und Fasern stark von den Wachstumsbedingungen abhängen, ergeben sich große Streubereiche. Über die Reibungswerte für die untersuchten Stoffe wurde bereits berichtet [2].

Tabelle 1:

Eigengewicht pro Längeneinheit und Biegesteifigkeit von Wickelstoffen
 (gemessen in Halm- bzw. Blattmittelteil)

Wickelstoff	Feuchte F (%)	Gewicht pro Längeneinheit q (mgr/cm)	Biegesteifigkeit $E \cdot I$ (kg/cm ²)
grüne Grasblätter	68	5 — 10	$1,0 \cdot 10^{-3} - 15,0 \cdot 10^{-3}$
trockene Grasblätter	5,5	1,0 — 6,5	$0,1 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3}$
grüne Grashalme	62	3,0 — 28	$100 \cdot 10^{-3} - 10,0 \cdot 10^{-3}$
trockene Grashalme	12	1,4 — 10	$0,1 \cdot 10^{-3} - 10 \cdot 10^{-3}$
trockene Strohblätter (Weizen)	6,8	1,5 — 3,5	$3,0 \cdot 10^{-3} - 40 \cdot 10^{-3}$
trockene Strohalme (Weizen)	6,8	10 — 20	4 — 30
Wollfäden		2 — 3	$25 \cdot 10^{-6} - 40 \cdot 10^{-6}$

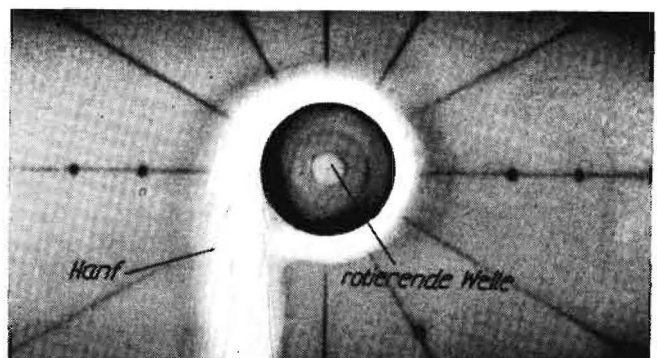


Abb. 13: Hanf wickelt durch Windkräfte (Zeitdehnenaufnahme)

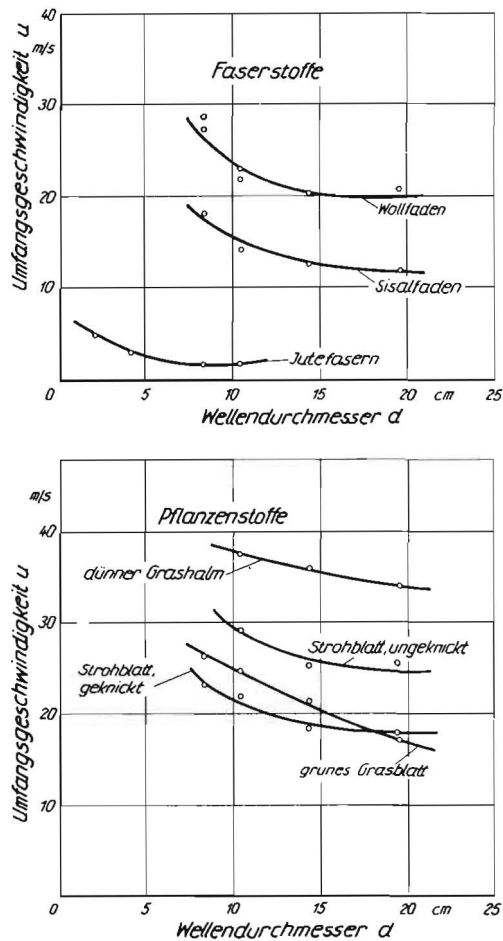


Abb. 14: Zum Wickeln erforderliche Umfangsgeschwindigkeit der Welle in Abhängigkeit vom Wellendurchmesser

Maßnahmen zur Herabsetzung der Wickelneigung

Die vorstehenden Untersuchungen, die die verschiedenen Erscheinungsformen des Wickelvorganges behandeln, zeigen Möglichkeiten auf, wie das Wickeln beseitigt oder zumindest die Wickelgefahr herabgesetzt werden kann.

Bei der trockenen Reibung läßt sich die Wickelneigung durch eine Verminderung des Reibungswertes herabsetzen, wobei festgestellt wurde, daß glatte und polierte Wellen höhere Reibungswerte aufweisen und so leichter wickeln als gedrehte.

Die Untersuchungen ergaben, daß die Gefahr des Wickelns mit kleiner werdendem Durchmesser stetig wächst. Die Wickelneigung läßt sich demnach durch die Wahl eines genügend großen Durchmessers wesentlich herabsetzen.

Das Wickeln, verursacht durch Öl und Fett, das zum Teil Verschmutzungen bildet, kann nur vermieden werden, wenn man dafür sorgt, daß überall dort, wo Fasern, Fäden, Blätter und Halme mit umlaufenden Maschinenteilen in Berührung kommen, keine schmierenden und klebenden Stoffe austreten. Das gilt insbesondere für die Lagerstellen.

Das Wickeln durch den Einfluß des Windes, der durch die Rotation der Welle erzeugt wird, läßt sich vermeiden, wenn man die Umfangsgeschwindigkeiten der Welle, entsprechend Abbildung 14, herabsetzt. Wenn das nicht möglich ist, kann man durch Abschälen der Strömung die Wickelgefahr nahezu beseitigen (Abb. 15a und 15b). Ist der Umfang einer schnell umlaufenden Trommel mit Profil besetzt, so kann durch eine besonders strömungsgünstige Ausbildung dieser Profile erreicht werden, daß die Windgeschwindigkeit und damit die Windkräfte, die zum Wickeln führen, herabgesetzt werden [3].

Das Wickeln, verursacht durch die mechanische Mitnahme des Gutes, läßt sich in den meisten Fällen durch geringfügige

konstruktive Änderungen vermeiden, wie es an den nachstehenden Beispielen gezeigt wird (Abb. 16 bis 18).

Das Wickeln an rauen Wellen vermeidet man, wenn man die Rauigkeit der Oberfläche herabsetzt, so daß kein Haken mehr eintreten kann. Schwieriger ist es, das Wickeln an profilierten Walzen, die Faser- und Pflanzenstoffe fördern sollen, zu vermeiden. Durch ein geeignetes Profil (s. Abb. 11) und durch eine Vergrößerung des Durchmessers läßt sich auch hier das Wickeln weitgehend verhindern.

Ein typisches Beispiel einer solchen Förderwalze stellt der rotierende Halnteiler dar, der die überhängenden Halme auf den Elevator fördern soll. Abbildung 19a zeigt eine in bezug auf das Wickeln schlechte Ausführung eines solchen Halnteilers; die kleinen Abrundungen der Spirale und der zum Boden hin kleiner werdende Durchmesser des Halnteilers begünstigen das Wickeln. Die in Abbildung 19b dargestellte Ausführung dagegen besitzt eine Spirale mit größerem Radius und eine Walze größeren Durchmessers, der über die Länge gleich ist und so das Wickeln weitgehend vermeidet.

Die Wickelgefahr an Gelenk- und Zapfwellen läßt sich durch abgerundete Profile verringern. Wenn jedoch das Bedienungspersonal in der Nähe solcher Wellen arbeitet, erscheint die Anbringung eines Schutzes der sicherste Weg, um Unfälle zu verhüten.

- [1] F. Wieneke: Wickel- und Reibungsuntersuchungen an Wellen und umlaufenden Maschinenteilen. Diss. Braunschweig 1956
- [2] F. Wieneke: Reibungswerte von Pflanzen- und Faserstoffen. Landtechnische Forschung 6 (1956) S. 146—151
- [3] F. Z. Blevins und H. J. Hansen: Analysis of Forage Harvester Design. Agr. Eng. 37 (1956) S. 21—26 u. 29
- [4] H. Trienes: Luftbewegung um Dreschtrommeln. Grundlagen der Landtechnik 1955, Heft 6, S. 35

Aussprache

Der Leiter der Aussprache (A. Lentz, Mannheim) faßte zusammen:

Die Grundlagenforschung hat die größte Bedeutung für den Konstrukteur, denn sie ermöglicht die Berechnung von Vorgängen und konzentriert die Versuchsreihen auf das optimale Gebiet. Der Vortrag ist deshalb besonders wertvoll, weil nicht nur die Ursachen des Wickelns geklärt, sondern auch die Stoffwerte ermittelt wurden, wie die Biegesteifigkeit und die Reibungsziffern von wickelfähigen Pflanzenteilen. Das sprunghafte Ansteigen der Reibungsziffer im welken Zustand der Pflanzenteile, der durch den Wassergehalt charakterisiert ist, klärt nach G. Segler die Ursache der Überbeanspruchungen im Preßkanal von Strohpressen und begünstigt als Ergebnis der Untersuchung das Wickeln solcher Pflanzenteile an rotierenden Wellen.

Untersuchungen von Urban an Förderschnecken zur Strohförderung zeigten, daß bei zu großer Beaufschlagung der

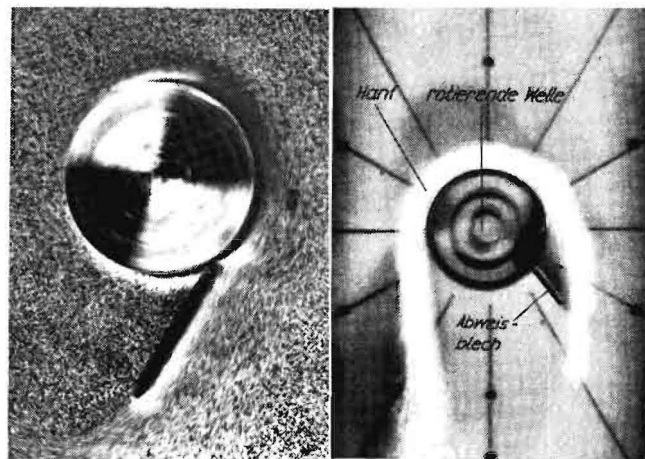


Abb. 15a (links): Ein an die Welle gestelltes Blech „schält“ die Strömung ab — Abb. 15b (rechts): Bei einer Strömung nach Abbildung 15a wird das Wickeln vermieden (Zeitdehneraufnahme)

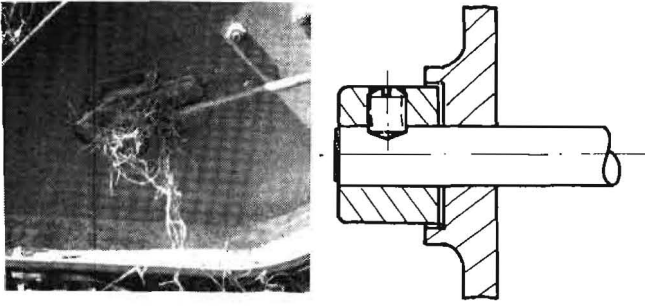


Abb. 16a (links): Wickeln verursacht durch überstehende Schraube und Spalt — Abb. 16b (rechts): Verbesserte Ausführung mit versenkter Schraube und abgedecktem Spalt vermeidet das Wickeln

Förderschnecke Verstopfung auftritt, die Reibungskraft die Querförderung unterbindet, weil das Schneckengewinde im Strohmantel überspringt und der Strohmantel sich um die Schneckentrommel wickelt. Überraschend ist, daß glattpolierte Wellen größere Neigung zum Wickeln haben als rauhere, die Wickelgefahr mit der Rauigkeit zunächst wieder steigt und bei großer Rauigkeit sinkt.

Eine ebenso wertvolle Erkenntnis ist, daß Wellen unter- und oberhalb eines kritischen Durchmessers weniger Neigung zum Wickeln haben.

Frage 1 (H. Bauer): Fördern langsam oder schnelllaufende Wellen das Wickeln durch Anschmiegen der Stoffe?

Antwort: Wie Beobachtungen in der Praxis zeigten, tritt das Wickeln an umlaufenden Wellen in sehr vielen Fällen so auf, daß das Gut aus einem Pulk unter großem Schlupf herausgerissen wird. Die auftretenden Zentrifugalkräfte können im Anfangsstadium dann vernachlässigt werden. Erst beim Überwickeln im Punkt A (Abb. 3c) nimmt das Gut schlagartig Wellenumfangsgeschwindigkeit an.

Bei Geschwindigkeiten über 15 m/sec begünstigt der rotierende Luftwirbel das Anschmiegen der Pflanzenteile an die Welle; darunter ist diese Wirkung belanglos und das Wickeln erfolgt durch Reibungsauflage.

Wenn dagegen einzelne Halme oder Fäden auf schnell umlaufende Wellen treffen, werden sie abgeschleudert, ein Wickeln tritt nicht ein.

Frage 2 (K. Marks): Beim Wickelvorgang ist zwischen Kraft- und Formschluß zu unterscheiden, bei Wellen in Mulden z. B. tritt durch Stauwirkung Formschluß ein, der Zusatzkräfte zum Kraftschluß bringt. Wie läßt sich diese Wickelerscheinung in die theoretische Betrachtung einfügen?

Antwort: Wenn man ein Festhaken oder Kleben des Gutes auf der Welle ausschließt, sind äußere Kräfte erforderlich (Abb. 5), die es im unteren Bereich der Welle andrücken. Das Wickeln in der Mulde ist ein solches Beispiel. Wie Abbildung 20 zeigt, tritt an der Blattspitze eine Kraft K_a auf, die das Gut andrückt. Das Blatt wird durch die Reibung auf der Welle weitergefördert und so zum Wickeln gebracht, wobei die Reibungskraft auf der Welle größer sein muß als in der Mulde.

Frage 3 (B. Deckert): Tritt beim Wickelvorgang Reibungselektrizität als Anziehungskraft auf?

Antwort: Die elektrische Aufladung tritt besonders bei trockenen und festen Stoffen auf, die nichtleitend sind. Da die untersuchten Pflanzen- und Faserstoffe einen Feuchtigkeitsgehalt von 10 bis 30 % Wasser besaßen, der meist zu einem Schmierfilm führte, wurde dieser Einfluß im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht. Es ist zu vermuten, daß bei trockenen Fäden und Fasern ein solcher Einfluß besteht, was in besonderen Untersuchungen noch geklärt werden müßte. — (H. Kreiser, ergänzend): Für solche Messungen sind Elektronometer erforderlich, da der innere Widerstand von Galvanometern zu groß ist.

Frage 4 (H. Römer): Bei Versuchen mit einer Pick-Up-Trommel konnte das Wickeln durch Aufbringen von kreisförmigen Profilen vermieden werden.

Antwort: Die mit abgerundeten Profilen besetzte Pick-Up-Trommel weist durch Verringerung der Reibungsfläche einen niedrigeren Reibungswert auf als eine glatte Blechtrommel, wodurch das Wickeln vermieden werden kann.

Frage 5 (G. Fritzen): Kann man der Berufsgenossenschaft angeben, bei welcher Rauigkeit und welchen Wellendurchmessern Wickeln eintritt?

Antwort: In der vorliegenden Arbeit konnten nur Tendenzen angegeben werden. Eine exakte Angabe, bei welcher Rauigkeit und bei welchem Durchmesser eine Welle wickelt, scheint sehr schwierig, da das untersuchte Gut stark unterschiedlich ist, wobei der Reibungswert und die Biegesteifigkeit stark schwanken (s. Tabelle 1).

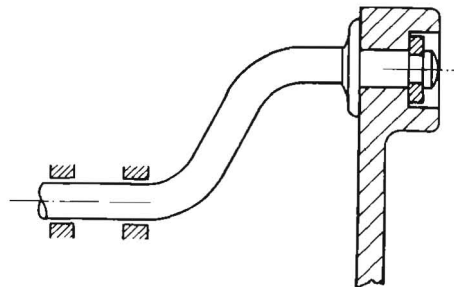
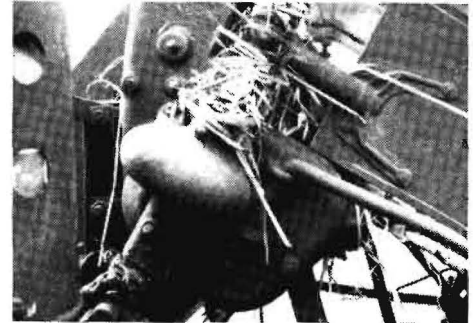


Abb. 17a (oben): Wickeln durch vorstehenden Splint verursacht
Abb. 17b (unten):
Verbesserte Ausführung mit Seegerring vermeidet das Wickeln

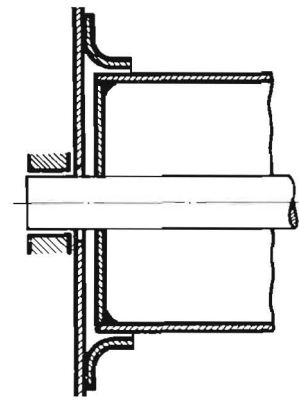
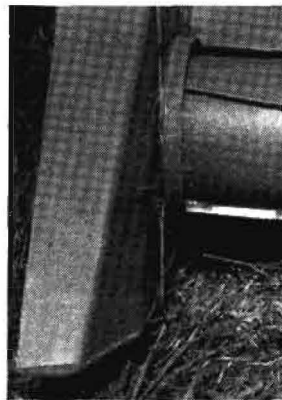


Abb. 18a (links): Wickeln im Spalt zwischen Aufnahmetrommel und Teiler
Abb. 18b (rechts): Abgedeckter Spalt vermeidet das Wickeln weitgehend

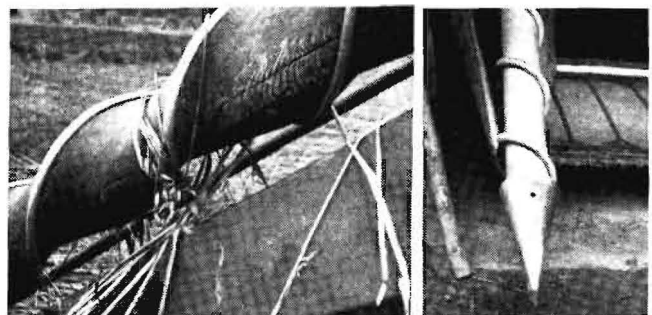


Abb. 19a (links): Halnteiler, der leicht zum Wickeln neigt
Abb. 19b (rechts): Halnteiler, der nicht so leicht zum Wickeln neigt

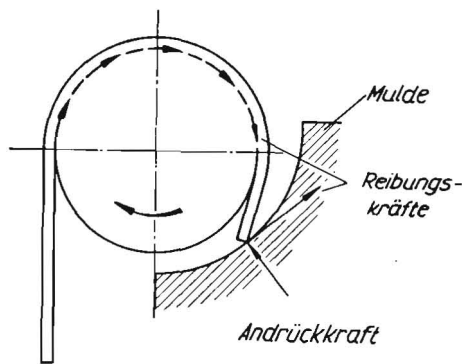


Abb. 20: Das Wickeln in einer Mulde

Frage 6 (H. Böhm): Wickelt eine glatte Welle tatsächlich leichter als eine rauhe? Wenn das zutrifft, rutscht eine glatte Welle, die z. B. mit Putzwolle gewickelt hat, nicht leichter durch, als eine rauhe Welle, wobei unter Umständen Betriebsstörungen vermieden werden könnten?

Antwort: Glatte Wellen rufen mit den untersuchten Stoffen größere Reibungswerte hervor als gedrehte, was in vielen Messungen eindeutig festgestellt werden konnte [2]. Das bedeutet, daß die Reibungskräfte und damit die Wickelkräfte auf einer glatten Welle größer sind. Eine rauhe Welle rutscht auch leichter durch. Bei Putzwolle mit sehr feinen Fäden liegt auf rauher Welle wahrscheinlich schon ein Verhaken vor, also eine formschlüssige Verbindung, die nur schwer zu trennen ist. Es bedarf noch besonderer Untersuchungen, bei welchem Rauheitsgrad eine rauhe Welle mit einem bestimmten Stoff festhakt und wickelt. (A. Lentz, ergänzend): Auf trockener Betonbahn haben nicht-profilerte, glatte Reifen den höchsten Haftbeiwert, wahrscheinlich weil die auf Schub beanspruchte Fläche der satt aufliegenden Reifendecke größer ist als bei sehr rauher Fahrbahn oder hohen Stollen, bei welchen die Auflagepunkte abgeschuert oder abradert werden. Auf dem Ackerboden ist die Schubfestigkeit des Bodens maßgebend. Auf nasser, verschmutzter Betonbahn ist

bei glatten Reifen der Radhaftbeiwert gering, da sich zwischen Fahrbahn und Reifen ein Schmierfilm bildet. Ähnliche Wirkungen dürften auch beim Wickeln glatter und rauher Wellen vorliegen bei trockener beziehungsweise flüssiger Reibung.

Frage 7 (H. Schnür): Wie wurde der Reibungswert bestimmt?

Antwort: Es wurde versucht, die Reibungswerte der untersuchten Stoffe auf einem umlaufenden Stahlband zu bestimmen, was zu ungenauen Ergebnissen führt, da das Stahlband schwingt. Die Reibungswerte wurden deshalb auf einer rotierenden Welle bestimmt [2]. Das zu messende Gut wurde über die rotierende Welle mit einem Umschlingungswinkel $\alpha = 90^\circ$ gelegt, das horizontale Ende ist in ein Dynamometer eingespannt und das vertikale Ende mit einem Gewicht G belastet. Der Meßwert M muß dann — wie bei einem Bremsband — $M = G \cdot e^{\mu\alpha}$ sein. Hieraus kann der Reibwert errechnet werden mit:

$$\mu = \frac{\ln \frac{M}{G}}{\alpha} ; \text{ mit } \alpha = \frac{\pi}{2} : \mu = \frac{2 \ln \frac{M}{G}}{\pi}$$

Vor jeder Messung ist die Welle zu reinigen, da der Abrieb die Welle verschmutzt. Die Reibungsziffer ist der Mittelwert aus vielen Messungen. (H. Böhm, ergänzend): Wendetrommeln in Dreschmaschinen mit 4 Flügeln auf einer Welle mit quadratischem Querschnitt neigen zum Wickeln, da die Halme sich an den Flügeln einhaken können. (H. Kotter, ergänzend): Das Einziehen von Halmen an den Lagerstellen der Wellenenden, das besonders durch austretendes Fett begünstigt wird, kann durch Eindrehen einer Rille in die Welle gemindert werden, wobei die lagerseitige Rillenkante der Welle in einer Ebene mit der Lagerstirnseite liegen muß, oder durch einen Wellenbund, der wellenseitig in der Lagerebene liegt. (G. Segler, ergänzend): Auch lose Scheiben, die zwischen Lager und Welle auf dem Wellenzapfen angeordnet sind, können dem Einziehen der Halme in das Lager entgegenwirken.

Résumé:

Dr.-Ing. F. Wieneke: „Untersuchungen zur Erklärung und Beseitigung von Wickelerscheinungen an umlaufenden Maschinenteilen.“

In der vorstehenden Arbeit wird das Wickelproblem zunächst grundlegend behandelt, wobei der Einfluß des Reibungswertes, des Wellendurchmessers, der Biegesteifigkeit als Maß für die Verformbarkeit des Wickelgutes, des Eigengewichtes der Wickelstoffe, ihrer Feuchte und der Rauigkeit der Wellenoberfläche qualitativ festgelegt werden konnte. Weitere Untersuchungen widmeten sich den Wickelerscheinungen bei Öl und Fett, bei mechanischer Mitnahme und bei Wind. Es konnten Größen angegeben werden, die Faser- und Pflanzstoffe hinsichtlich ihrer Wickelneigung kennzeichnen. Dem Konstrukteur werden Maßnahmen genannt, die die Wickelneigung herabsetzen oder das Wickeln ganz vermeiden.

Dr. Ing. F. Wieneke: "Investigations in connection with the Determination of the Cause and Prevention of Winding and Balling on Rotating Parts of Agricultural Machinery."

The problem of winding and balling in connection with the rotating parts of agricultural machinery has been thoroughly investigated and the influence of the co-efficient of friction, the diameter of the shaft under investigation, the bending resistance, the degree of dampness and the weight of the material that will wind around the shaft and the degree of roughness of the shaft were determined. Further investigations were made to ascertain the influence of oil and grease, wind and mechanical drag. Figures indicative of the tendency to winding and balling round rotating shafts of various types of plants and fibres were then prepared. Principles are laid down, the adoption of which will enable designers to reduce the tendency to winding and balling or even to prevent completely this undesirable state of affairs.

Dr.-Ing. F. Wieneke: «Recherches en vue de l'explication et de la suppression des phénomènes de bourrage de pièces de machine en rotation.»

L'article présent traite d'abord, d'une façon fondamentale, des problèmes posés par le bourrage de pièces de machine en rotation, en déterminant qualitativement l'influence du coefficient de frottement, du diamètre de l'arbre, de la rigidité de la matière c'est-à-dire de sa résistance à la déformation, du poids propre de la matière provoquant le bourrage, de sa teneur en humidité et de l'aspérité de la surface de l'arbre. D'autres recherches ont visé d'éclaircir des phénomènes de bourrage causés par l'huile et la graisse, lors d'un entraînement mécanique ou pneumatique. On a pu établir des données qui traduisent la tendance au bourrage de diverses plantes et matières fibreuses. L'auteur termine en recommandant au constructeur, des mesures susceptibles de réduire ou de supprimer totalement la tendance au bourrage.

Ing^o Dr. F. Wieneke: «Investigaciones hechas para aclarar y para evitar el efecto de enrollado en elementos rotativos de máquinas.»

En el artículo se empieza tratando de manera fundamental el problema del enrollado, estableciéndose qué influencias son las que ejercen el coeficiente de resbalamiento, el diámetro y la aspereza de la superficie del eje, la resistencia a la flexión del material como medida para la deformación, el peso del material y su humedad. Otras investigaciones trataron de los fenómenos de enrollamiento en aceites y grasas por arrastre mecánico y por el viento. Pudieron establecerse valores para la tendencia de enrollarse materiales vegetales y fibras, haciéndose indicaciones que sirven al constructor para reducir la tendencia al enrollamiento o para evitarlo por completo.