

Anwendungsmöglichkeiten von Kunststoffen in der Landtechnik

Von Ruprecht Finkenzeller

Das Problem „Kunststoffe für Landmaschinen“ ist noch verhältnismäßig neu, so daß man nicht erwarten darf, nachstehend verbindliche Angaben über genaue technologische Eigenschaften möglichst vieler Kunststoffarten und über eine technisch wie wirtschaftlich sinnvolle Verwendung von Kunststoffen im Landmaschinenbau zu erhalten. Auch die Versuche, die vom Verfasser mit Kunststoff als Werkstoff bisher durchgeführt worden sind, sind an Zahl gering im Verhältnis zu den weiten Möglichkeiten, die sich dem Kunststoff im Landmaschinenbau bieten.

Es können aber anhand der Versuche dem Landmaschinenkonstrukteur einige Anregungen gegeben werden, wo er den Kunststoff bei der Werkstoffauswahl mit einbeziehen soll, anders ausgedrückt, wo ihm die heute zur Verfügung stehenden Kunststoffe Vorteile gegenüber Stahl und Holz zu bieten scheinen; „scheinen“ deshalb, weil die Erfahrungen und Überraschungen im Einsatz neuer Maschinen und Werkstoffe in der Landtechnik zur Vorsicht mahnen. Zum Beweis, wie spärlich unser Wissen um die technologischen Eigenschaften der Kunststoffe ist, seien folgende Auszüge aus der Fachliteratur zitiert:

Nach der Zeitschrift „Kunststoffe“ [1] ist die Grenzflächenbelastung p eines Lagerringes aus

Tafel 1. Übersicht über die als Werkstoff für Maschinenelemente geeigneten thermoplastischen Kunststoffe [4].

	Thermoplastischer Kunststoff						
	amorph		amorphkristallin				
	Polyvinylchlorid hart	weich	Akrylglas	Poly- styrol	Poly- äthy- len	Poly- ami- de	Fluor- poly- meri- sate
Schrauben, Muttern	x					x	
Dämpfungsglieder		x			x	x	
Gleitlager, Gleitbuchsen	x					x	x
Wälzlagerkäfige						x	
Zahnräder, Schraubenräder					x	x	x
Flügel- u. Schaufelräder	x					x	
Rollen	x				x	x	x
Treibriemen		x				x	
Förderbänder		x				x	
Gehäuse, Behälter, Gefässe	x		x	x	x	x	
Griffe, Handräder	x			x		x	
Halbzeug (Platten, Profilstäbe und Rohre)	x	x	x	x	x	x	x
Dichtungen, Manschetten		x			x	x	x
Ventile, Schieber, Absperrhähne	x				x	x	x

Polyamid 6 x 6 in Abhängigkeit von der Gleitgeschwindigkeit v bei stündlicher Schmierung mit 3 Tropfen Maschinenöl und einem Lagerspiel von $s = 0,13 \text{ mm} = 2\%$:

$$p = 70 \text{ kg/cm}^2 \quad v = 0,6 \text{ m/s}$$

$$p = 50 \text{ kg/cm}^2 \quad v = 1,3 \text{ m/s}$$

$$p = 40 \text{ kg/cm}^2 \quad v = 2,6 \text{ m/s}$$

Bei Mäkel [2] finden wir unter „Anwendungsbereiche von Gleitlagern“ folgende Angaben:

Gruppe	Lagerart	Richtwerte Flächen- pressung kg/cm ²	Gleit- geschw. m/s	Besondere Betriebs- bedingungen	Bemerkungen
1	gering beanspruchte Lager (Lagerbuchsen)	10	1	niedrige Gleitgeschwindigkeit; auch hin- und hergehende Dreh- oder Längsbewegungen und aussetzender Betrieb; mässige Schmierung; oft auch Verschmutzung	unmittelbare Reibung der Gleitflächen mit Verschleiss; Kunst- und Pressstoffe geeignet
3	Achslager	50	3	grössere Pressung in der Tragzone; starke Stösse; wechselnde Geschwindigkeiten; besonders grosses Lagerspiel; meist mässige Schmierung	halbflüssige Reibung; häufig unterbrochen; daher Verschleiss; Kunststoffe bei etwas niedriger, Pressstoffe höchstens nur bei halber Beanspruchung und gehärteten Wellen geeignet.

Weber [3] berichtet über das englische PTFE-Lager¹⁾ und gibt für Trockenlauf des Lagers und eine Lagerbelastung $p v = 2 [\text{kg/cm}^2] [\text{m/s}]$ eine Lebensdauer von 1000 Stunden an.

Würde sich der letztgenannte Wert nicht nur auf Trockenlauf beziehen, so könnte man hier zum ersten Mal von einer praxisnahen Angabe sprechen. Jedenfalls liegen bei den eigenen monatelangen Versuchen die Ergebnisse in dieser Größenordnung, allerdings nicht bei Trockenlauf, sondern bei normaler Fettschmierung. Die übrigen oben zitierten Angaben und Zahlenwerte scheinen jedoch unter Bedingungen erzielt worden zu sein, die bei Landmaschinen praktisch nicht erfüllbar sind. Auf die Lagerversuche wird im einzelnen später noch ausführlicher eingegangen.

Dieser kleine Abstecher in die Praxis am Anfang der vorliegenden Ausführungen soll zeigen, wie vorsichtig man bei einer Umstellung auf Kunststoff sein muß.

Die Untersuchungen beschränkten sich bisher auf thermoplastische Kunststoffe, wie:

1. PVC (Polyvinylchlorid) hart, bekannt auch unter den Firmenbezeichnungen: Vinidur, Rhenadur, Trovidur,
2. PVC weich, bekannt auch unter den Namen: Acella, Mipolam,

¹⁾ Polytetrafluoräthylen (PTFE), ein plastisches Polymer mit der Strukturformel $(\text{CF}_2)_n$, im Handel als Fluon und Teflon bekannt, ist ein weißer, durchscheinender, bei Raumtemperatur fester Stoff.

Tafel 2. Festigkeits- und andere Kennwerte für Kunststoffe.

	spez. Gewicht	Zugfestigkeit	Druckfestigkeit	Biegefestigkeit	Kerbschlagzähigkeit	E-Modul	Wärmeleitfähigkeit
	—	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{cm kg}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$
Hart-PVC	1,4	5-7	7-9	8-10	2-4	300	0,15
Weich-PVC	1,3	1-2	—	—	—	~1	0,1
Polyamid	1,2	5-7	5-6	3-4	> 5	100	0,2
Polyurethan	1,2	5-6	6-7	5-6	> 5	200	0,25
Polystyrol	1,1	4-6	8-11	7-11	1-2	350	0,1
Polyäthylen	1,0	1-2,5	0,4-0,5	—	> 100	20	0,3
Stahl	7,8	60	150	150	700-1000	21.000	45
Gusseisen	7,2	14	30	30	—	10.000	10-40
Duralumin	2,8	40	—	90	—	7.200	126
Eichenholz	0,8	9	—	6	—	1.000	0,25

Die Kunststoffe in ihrer Vielfältigkeit sind somit nichts anderes als neue Werkstoffe mit vielfach bisher nicht gekannten Eigenschaften, die es gilt, auch im Landmaschinenbau nutzbringend zu verwerten (Tafel 3). Gerade durch die im Vergleich zum allgemeinen Maschinenbau besonderen Eigenheiten des Landmaschinenbaues ergeben sich zahllose neue sinnvolle Verwendungsmöglichkeiten für den Kunststoff.

Tafel 3. Bemerkenswerte Eigenschaften der Kunststoffe in Bezug auf den Landmaschinenbau

Vorteilhaft	Nachteilig
1 spezifisch leicht	1 lichtempfindlich (U-V-Strahlen)
2 korrosionsunempfindlich	2 temperaturempfindlich
3 verschleissfest	3 hoher kg-Preis
4 feuchtigkeitsunempfindlich	
5 geringer E-Modul (bei gleichzeitig guter Rückfederung)	
6a ansprechendes Äusseres b z. T. durchsichtig	
7 kleiner Reibungskoeffizient	
8 geringe Leitfähigkeit	
9 gute Bearbeitbarkeit	
10 Formbarkeit	

- Polyamid, bekannt unter den Firmenbezeichnungen: *Ultramid* (verschiedene Marken), *Durethan BK*, *Nylon*, *Perlon*,
- Polyurethan: *Vulkollan*, *Durethan U*, *Moltopren* (Schaumstoffe). Daneben sind die technisch interessanten Kunststoffe Polystrol, Polyäthylen, Fluorpolymerisate u. a. zu nennen, mit denen vom Verfasser bisher jedoch keine Untersuchungen durchgeführt wurden.

Die konstruktiven Eigenschaften

Aus Tafel 1 nach Jakobi [4] kann man bereits einen groben Überblick über die technischen Verwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Kunststoffe entnehmen. In Tafel 2 finden Sie Zahlenangaben für diese Kunststoffe bezüglich Zugfestigkeit, E-Modul usw., die aber nur als Ungefährwerte zu betrachten sind, da beim Kunststoff die Verarbeitung, die Betriebsverhältnisse usw. einen großen Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften haben können. Nach Tafel 2 liegen die Festigkeitswerte der Kunststoffe weit unter dem von Stahl. Bezieht man aber die Festigkeitszahlen auf das spezifische Gewicht, so bekommt man ein völlig anderes Bild.

Vergegenwärtigt man sich beispielsweise, daß die meisten Landmaschinen bei ihrem Arbeitseinsatz über das Feld, d. h. über weichen Ackerboden bewegt werden müssen, so ist damit schon die besondere Bedeutung eines geringen Maschinengewichtes offenkundig. Überall, wo es also nicht auf Festigkeitseigenschaften ankommt, wird man gern nach den spezifisch leichten Baustoffen greifen.

Die Landmaschinen sind aber auch der Witterung ausgesetzt und bedürfen darum bei ihrer bisherigen Ausführung in Holz und Stahl eines besonderen Korrosionsschutzes. Kunststoffe benötigen dagegen keinen besonderen Oberflächenschutz, sie sind weitgehend feuchtigkeitsunempfindlich, zum Teil aber lichtempfindlich (UV-Strahlen) und in ihrer Elastizität temperaturabhängig. Dies muß bei Verwendung in Landmaschinen beachtet werden.

Der vielfach rauhe Betrieb, dem Landmaschinen ausgesetzt sind, vor allem soweit sie direkt oder indirekt mit Erde und Staub in Berührung kommen, erfordert an besonders gefährdeten Stellen einen verschleißfesten Werkstoff. Es sei in diesem Zusammenhang nur z. B. an Siebe, Mähbalken usw. erinnert. Hier eröffnen die Kunststoffe m. E. noch nicht zu übersehende Möglichkeiten.

Zum rauhen Betrieb vieler Landmaschinen gehört es auch, daß hin und wieder harte Gegenstände wie Steine, Gabelstiele usw. so in die Maschine gelangen, daß dies entweder zu bleibender Verformung oder zum Bruch von Maschinenteilen führt. Der niedrige E-Modul bei gleichzeitig guter Rückfederung verschiedener Kunststoffe gibt auch hier Gelegenheit zu vorteilhafter Verwendung.

Nicht nur ein gutes Aussehen auch ein klares Hindurchsehen ist bei landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten oft zweckmäßig. Gewisse Kunststoffe bieten die Möglichkeit, das Arbeiten

der Becherwerke, den Lauf der Samenkörner durch das Saatrohr oder den Fluß der Milch bei Milcheinrichtungen zu beobachten.

Außer diesen gerade für die Landmaschinen wichtigen Eigenschaften findet man weitere Merkmale beim Kunststoff, die für den Maschinenbau ganz allgemein als bedeutend angesprochen werden können, so z. B. die gute Bearbeitbarkeit, die schlechte Wärmeleitfähigkeit, den geringen Reibungsfaktor.

Säräder aus Kunststoff

Unter Beachtung dieser ausgeprägten Kunststoffeigenschaften wurden in den vergangenen Monaten Vergleichsversuche mit einigen Landmaschinenbauteilen in herkömmlicher Ausführung und in Kunststoffkonstruktion durchgeführt. Um von vornherein auf möglichst breiter Basis zu arbeiten, wurden diese Bauelemente aus den verschiedensten Gebieten der Landtechnik ausgewählt. So wurde z. B. ein bisher in Grauguß gefertigtes Zellenrad (Bild 1) einer Drillmaschine aus einem einfachen Polyamid-Kunststoff hergestellt und auf sein Verhalten im Betrieb geprüft.

Die Gründe, gerade dieses Bauelement in Kunststoff zu fertigen, waren:

1. billigere Herstellung bei gleichzeitig größerer Genauigkeit,
2. Ausnutzung der Elastizität (Körnerbeschädigung),
3. keine Korrosion, daher sind engere Toleranzen vor allem im Schiebesitz möglich,
4. Gewichtsersparnis und
5. wartungsfreier Lauf, da keine Schmierung notwendig ist.

Eine Vergleichsprüfung im praktischen Einsatz wurde nicht durchgeführt, da die Herstellungskosten und die Herstellungsgenauigkeit, die Elastizität des Kunststoffes, die Korrosionsunempfindlichkeit und das spezifische Gewicht bekannt sind. Somit blieb nur die Frage offen, wieweit ein „wartungsfreier Lauf“ gewährleistet ist, bzw. wie groß der Verschleiß der Lagerstellen des versuchsweise verwendeten Kunststoffes gegenüber dem bisherigen Grauguß ist.

Der in diesem Fall unzweifelhaft schneller zum Ziel führende Laborversuch wurde folgendermaßen aufgebaut und durchgeführt (Bild 2). Zwei Sägehäuse wurden in einem z. T. mit trockenem Sand gefüllten Kasten fest eingebaut. Um eine gegenseitige Verspannung der beiden Schubräder in ihrer Lagerung auszuschalten, erfolgte der Antrieb über eine elastische Welle (Gummischlauch). Ein Gummischlauch diente auch als kraftschlüssige, jedoch nachgiebige Verbindung zwischen dem Antriebsmotor und der Schubradwelle. Die Schubräder tauchten etwa 25 mm tief in den Sand und drehten sich mit einer Geschwindigkeit von 78 U/min. Die Versuchsdauer betrug 106,5 Stunden, wobei sich 500 000

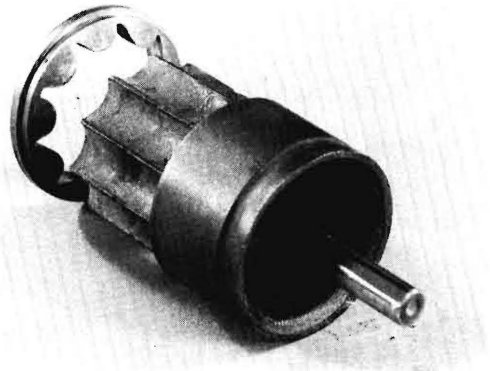


Bild 1. Särad einer Drillmaschine aus Grauguß, das sich vorteilhaft aus Kunststoff herstellen liesse.

Umdrehungen der Schubradwelle ergeben. Der durch die Drehbewegung weggeschobene, z. T. durch die Reibung in den Lagern stark vermahlene Sand wurde regelmäßig erneuert. Der Sand hatte eine maximale Korngröße von 0,5 mm ϕ .

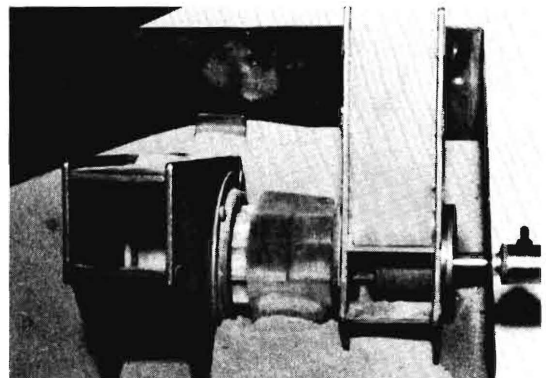


Bild 2. Verschleissprüfstand für Säräder aus Kunststoff und Grauguß.

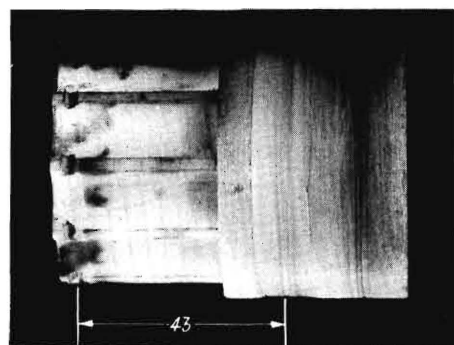
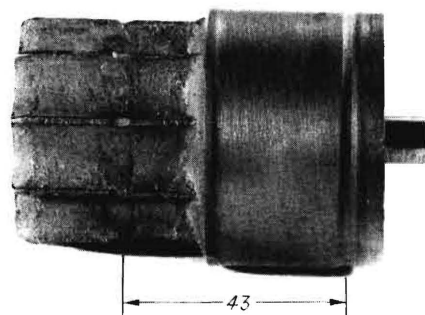


Bild 3. Die beiden Säräder aus Grauguß (oben) und Kunststoff (unten) nach der Verschleissprüfung.

Das Ergebnis des Verschleißversuches ist in **Bild 3** zu erkennen. Das bisher verwendete Schubrad aus Grauguß weist sowohl in der Zylinderfläche als auch am Sternprofilteil im Abstand von etwa 43 mm je eine tiefe Einkerbung auf. Das aus Polyamid hergestellte Schubrad zeigt am Sternprofilteil (außen) dieselbe Einkerbung, dagegen auf der Zylinderfläche eine flach verlaufende Rille. Dieser Unterschied ergab sich dadurch, daß die Bohrung im Gehäuse – auf Grund vorangegangener Tastversuche – mit einer Kunststoffbüchse versehen worden war, deren Lauffläche im Gegensatz zur Gehäusewand aus Blech (2,5 mm) doppelt so breit (5 mm) war.

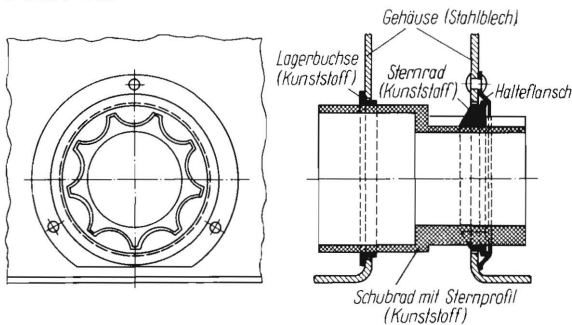


Bild 4. Lagerung des Särades im Gehäuse.

Die im Sternprofilteil des Schubrades sichtbare Rille entstand dadurch, daß sich das Sternrad in seinem Außendurchmesser durch Verschleiß verringerte, wodurch die scharfe Kante des am Gehäuse befestigten Halteflansches mit dem Schubrad selbst

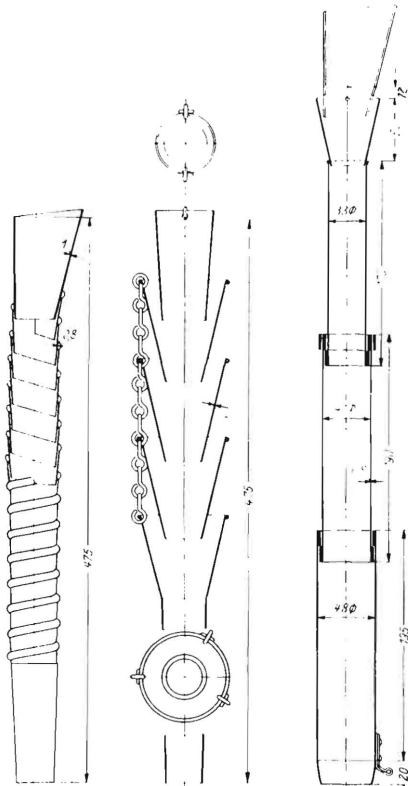


Bild 5. Die seitherigen Saatlösungsrohre für Drillmaschinen aus Stahl können mit Vorteil durch PVC-Kunststoffschläuche ersetzt werden.

in Berührung kam (**Bild 4**). Da die Tiefe der Rillen bei beiden Lagern ungefähr gleich ist, kann daraus geschlossen werden, daß die hinsichtlich des Verschleißes von Kunststofflagern gehegten Zweifel unbegründet sind. Da weder vor noch während des Versuches die Lagerstellen mit Fett versehen worden sind, kann auch die Frage „wartungsfreier Lauf“ positiv beantwortet werden.

Nach 500 000 Umdrehungen wurden an den einzelnen Bauteilen durch Abrieb folgende Gewichtsverluste gemessen:

	Gewichtsverlust der Teile aus Grauguß aus Kunststoff	
	1. Schubrad	0,82 %
2. Sternrad	11,70 %	11,89 %
3. Lagerbüchse	–	3,0 %

Zweifellos ließen sich beim Kunststoff durch Verwendung abriebfesteren Materials noch günstigere Werte erzielen. Erfahrungsgemäß tritt jedoch der oben für die Graugußschubräder erwähnte Verschleiß selbst bei langjährigem, praktischem Arbeitseinsatz niemals auf, so daß in diesem Fall ein Werkstoffaustausch ohne Nachteil vorgenommen werden kann.

Saatleitungsrohre aus Kunststoffschläuchen

Zu den technisch überalterten Bauelementen in Landmaschinen gehören die Saatlösungsrohre der Drillmaschinen (**Bild 5**). Die Nachteile der drei Ausführungsarten Spiralrohre, Trichterketten und Teleskoprohre sind bekannt. Hier bietet sich der Einsatz von PVC-Schläuchen geradezu an, denn alle Nachteile der bisher verwendeten Rohre wie Verbeulen, Rosten, Verschmutzen und zu geringe Beweglichkeit fallen bei diesen Schläuchen weg.

Dazu bringen die PVC-Kunststoffschläuche in diesem Anwendungsfall noch folgende Vorteile mit sich: 1. die Schläuche können auf Grund ihrer Beweglichkeit am Körnerauslaufstutzen des Saatkastens starr befestigt werden; 2. die Schläuche sind durchsichtig, weshalb der störungsfreie Lauf des Saatgutes mühelos beobachtet werden kann.

Die bisher aus Blechstreifen gewickelten Spiralrohre können ohne konstruktive Änderungen der seitherigen Befestigungsart gegen gerade Kunststoffschläuche ausgetauscht werden, da die durch Bodenunebenheiten bedingten Änderungen des Abstandes zwischen Saatkasten und Drillschar durch den am Scharkörper befindlichen Trichter ausgeglichen werden. Will man die Saatlösung auch am Drillschar starr befestigen, so verwendet man leicht spiralförmig gewundene Schläuche, die ohne weiteres die Längendifferenzen zwischen Saatkasten und Drillschar auszugleichen vermögen. Eine Gefahr, daß das Saatgut bei angehobenem Drillschar im Schlauch liegen bleibt, besteht nicht, wie die

in Rohren mit 25 mm ϕ ermittelten Reibungswerte zwischen Stahl, Kunststoff und verschiedenen Sämereien in **Tafel 4** zeigen.

Die mit klar durchsichtigen bzw. farbigen Kunststoffschläuchen versehene Drillmaschine sieht außerdem gefälliger aus als die bisherigen Maschinen mit den für heutige Begriffe häßlichen teleskopartigen Stahlrohren.

Handgriffe aus Schrumpfschläuchen

Warum versieht man die vielen Hebel bei unseren Landmaschinen nicht mit ordentlichen Griffen? Jedes Fahrrad, jeder Kinderwagen besitzen über dem Lenkstangenrohr am Griffende einen Schonüberzug in Form von Gummi oder Zelluloid. Der Bauer muß aber, wenn er die Haspel an seinem Binder oder Mähdrescher bedient, das kalte, nackte, verrostete Flacheisen oder Rohrstück anfassen. Dabei gibt es heute so billige, einfach zu montierende Schrumpfschläuche in jeder Abmessung und Farbe. Diese Schrumpfschläuche aus Kunststoff besitzen den Vorteil einer schlechten Wärmeleitfähigkeit und geben der Maschine gleichzeitig ein ansprechenderes Äußeres.

Mähmesserfinger

Wie eingangs erwähnt, ist der Kunststoff ein neuer Werkstoff mit vielen, bisher nicht gekannten Eigenschaften, die es gilt, auch im Landmaschinenbau nutzbringend einzusetzen. Als Musterbeispiel kann die Verwendung von Kunststoff als Werkstoff für Mähmesserfinger gelten. Die einfache Fertigung dieses komplizierten Bauteiles aus Polyamid könnte genutzt werden. Besonders wichtig erscheint aber die gute Elastizität dieser Kunststoffart, die eine neuartige Arbeitsweise des Messers zuläßt.

Die bisherigen Mähbalken für Gras- oder Getreideschnitt sind so gebaut, daß die einzelnen Finger mit dem Fingerbalken starr verbunden sind. Kommt nun zwischen Messerklinge und Finger ein Fremdkörper, so werden nicht nur die betreffende Klinge, sondern auch die nebenanliegenden Klingen, u. U. sogar das ganze Messer, angehoben. Damit kommt aber der beabsichtigte Scherenschnitt nicht zustande und die Halme gelangen ungeschnitten zwischen Finger und Messer; der Anfang für eine Messerverstopfung ist da. Baut man dagegen elastische Finger in den Messerbalken ein, so kann das Messer starr sein. Gelangt nun ein Fremdkörper zwischen ein einzelnes Fingerplättchen und die dieses überdeckende Messerklinge, so werden diese wohl auseinandergespreizt, alle übrigen Messerklingen bleiben aber mit den Fingerplättchen der jeweils entsprechenden Finger in satter Anlage. Nur der einzelne Finger gibt nach.

Von diesem Grundgedanken ist man ausgegangen, als im vergangenen Jahr ein Lohnmähdrescher in der Völkenroder Gegend mit solchen nachgiebigen

Tafel 4. Reibungskoeffizient μ zwischen Kunststoff, Stahl und verschiedenen Sämereien.

	Reibungskoeffizient μ in Rohren mit 25 mm ϕ aus		
	Polyamid	P. V. C.	gezogenem Stahl
Weizen	0,25	0,34	0,31
Gerste	0,26	0,36	0,31
Roggen	0,27	0,39	0,34
Hafer	0,33	0,45	0,39
Lieschgras	0,31	0,42	0,34
Knautgras	0,38	0,60	0,51
Welsches Weidelgras	0,37	0,55	0,49
Deutsches Weidelgras	0,38	0,53	0,47
Wiesenschwingel	0,40	0,53	0,49
Wehrlose Trespel	0,41	0,49	0,55
Glatthafer	0,49	1,00	0,70
Goldhafer	0,65	0,90	0,75

Kunststoffingern aus Polyamid ausgerüstet wurde. Mit dieser Maschine wurden 360 Morgen zum Teil stark verunkrautetes Getreide gemäht. Ein Finger war bei der Arbeit durch Gewalt – vermutlich durch Auffahren gegen einen Grenzstein – abgebrochen, bei einem anderen Finger war die Lippe eingeschnitten. Verschleiß oder sonstige nachteilige Beobachtungen an den Kunststoffingern wurden weder vom Lohnunternehmer noch bei der abschließenden Überprüfung bemerkt.

Es sei hier aber im Zusammenhang mit den Mähwerksfingern besonders darauf hingewiesen, daß die geringeren Festigkeitswerte von Polyamid gegenüber Stahl bei der Dimensionierung der Kunststofffinger berücksichtigt werden müssen. Man kann also nicht im Maßstab 1 : 1 von Stahl auf Kunststoff umkonstruieren, sondern muß dies werkstoffgerecht tun.

Kunststoffummantelte Drähte

Schon längere Zeit bekannt sind kunststoffummantelte Drähte, die in der Landwirtschaft für Schwedenreuter, für Weinberge und überall dort von Interesse sind, wo Drähte, der Witterung ausgesetzt, eine lange Haltbarkeit besitzen sollen. Die Kunststoffummantelung ist in erster Linie als reiner Korrosionsschutz gedacht. Diese Forderung wird ohne Zweifel auch erfüllt, solange die Drahtummantelung keiner mechanischen Beanspruchung unterworfen ist. Dies läßt sich aber im rauen landwirtschaftlichen Betrieb kaum vermeiden, denn der Draht muß befestigt werden und wird auch nach der Anbringung seine Ruhelage nicht beibehalten. Unsere Untersuchungen erstreckten sich daher auf die Prüfung der Zerreißfestigkeit, Biegefähigkeit und das Abriebverhalten verschiedener handelsüblicher Kunststoffdrähte (**Bild 6**). Dabei wurde noch unterschieden zwischen neuwertigen und jahrelang der Witterung ausgesetzten Drähten; außerdem wurde der Temperaturempfindlichkeit der Kunststoffe besondere Beachtung geschenkt.

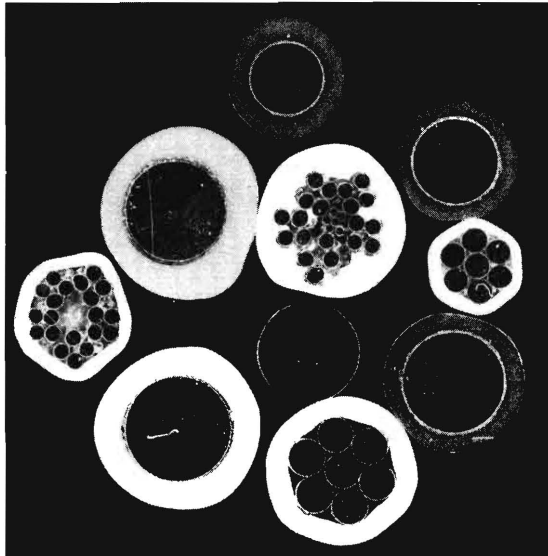


Bild 6. Kunststoffummantelte Drähte im Querschnitt.
Vergrößerung 6 fach.

Bei den Zerreiversuchen, die in der üblichen Weise auf der Zerreißmaschine ausgeführt wurden, zeigte sich, daß praktisch nur der Stahlkern des Drahtes als tragendes Element anzusehen ist. Die Festigkeit der Kunststoffummantelung ist dagegen vernachlässigbar klein.

Anders ist es dagegen bei der Biegefhigkeit, die nach DIN 51211 [5] auf einem hierfür gebauten Gerät ermittelt wurde. Bei ihr werden die Haltbarkeitsgrenzen entweder durch den Draht bzw. Seilkern bestimmt oder – und das gilt vor allem bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt – durch den Kunststoff. Die entsprechenden Zahlenwerte der untersuchten Proben zeigt die Zusammenstellung in **Tafel 5**.

Um das Abriebverhalten der Drahtummantelung zu prüfen, haben wir eine entsprechende Schleifeinrichtung entwickelt. Bei dieser Prüfung wird die Zeitdauer bestimmt, um die Ummantelung aus Kunststoff so weit abzureiben, daß die Drahtseele aus Stahl sichtbar freiliegt.

Um sich eine Vorstellung vom Aufbau dieses Prüfgerätes machen zu können, stelle man sich der Einfachheit halber einen Plattenspieler vor. Statt der Schallplatte wurde ein mit Schleifpapier (Körnung 220) beklebter Stahlsteller aufgelegt. Die Drehzahl des Tellers betrug 33 U/min. Der Tonabnehmerkopf wurde durch eine senkrecht zum Schleifteller stehende Holzrolle mit 75 mm ϕ ersetzt. Auf dem Umfang der Holzrolle wurde eine Drahtwindung gelegt, die

in einem Punkt mit einem Auflagegewicht von 135 g den Schleifteller berührt. Um das Schleifpapier in seiner ganzen Fläche zu nutzen, wurde dem „Tonabnehmerarm“ eine horizontale Schwenkbewegung mit 6 Doppelhben pro Minute durch einen zweiten Antrieb aufgezungen. Aus der Fläche des Schleifpapiers wurde ein kleiner Sektor ausgespart, so daß der Draht bei jeder Umdrehung einmal kurz mit der Stahlscheibe unmittelbar in Berührung kam. Sowie der Kunststoffmantel an der Schleifstelle durchgescheuert ist, Stahldraht oder Drahtseil also freiliegen, wird durch letztere ein mit einem akustischen Signal verbundener Stromkreis geschlossen.

Die sich so ergebenden Abriebzeiten können natürlich nur als Relativwerte angesehen werden. Sie zeigen bei den von uns untersuchten Drähten Zeitunterschiede im Verhältnis von 1 : 7,8, d. h., die beste Ummantelung hält gegenüber der schwächsten die 7,8fache Zeit, bis sie bis auf den Stahlkern durchgescheuert ist. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß diese Unterschiede nicht nur durch die verschiedene Verschleißfestigkeit der verwendeten Kunststoffe, sondern auch durch die unterschiedlichen Drahtdurchmesser und Mantelstrken bedingt sind.

Zu den kunststoffummantelten Drähten wäre zusammenfassend zu bemerken, daß man – wie die Versuchsergebnisse im einzelnen zeigen – nicht einfach von einem guten oder schlechten Draht sprechen darf, sondern daß man zwischen alterungsbeständigen oder verschleißfesten, zwischen biegefhigen oder zerreifesten Drähten unterscheiden muß, um diese je nach dem vorliegenden Verwendungszweck als mehr oder weniger geeignet zu charakterisieren.

Kettenräder für Kartoffelsiebreste

Landmaschinen sind im allgemeinen einem verhältnismäßig hohen Verschleiß unterworfen, besonders dann, wenn einzelne Maschinenteile mit

Tafel 5. Biegefhigkeit kunststoffummantelter Drähte nach DIN 51211.

Probe Nr.	Kunststoffmantel	Drahtkern	Zahl der Biegungen bis zum Bruch					
			des Drahtkernes			des Kunststoffmantels		
			+10 °C	+0 °C	-10 °C	+10 °C	+0 °C	-10 °C
1854	Polyamid	Seil	>100	>100	>100	>100(>100)	>100(16)	>100(7)
1855		Seil	>100	>100	>100	>100(>100)	>100(30)	>100(24)
2009	PVC	Seil	>100	>100	>100	>100(>100)	>100(∞)	>100(∞)
2010	PVC	Seil	>100	>100	>100	>100(>100)	>100(∞)	>100(∞)
1853	PVC	Draht	66	66		(0)	(2)	1(1)
1865	PVC	Draht	20	20	18	(0)	(0)	(1)
1866	PVC	Draht	16	17	17	(0)	(17)	(1)
1867	PVC	Draht	18	18	17	(0)	(0)	(1)
2011	PVC	Draht	45	48	48	(0)	(0)	(0)

(∞) nicht geprüft

() Klammerwerte gelten für 2 Jahre lang UV-Licht ausgesetzten Drahtproben

Erde in Berührung kommen, wie beispielsweise die Siebe, Ketten, Lager usw. von Erntemaschinen für Wurzelfrüchte.

Reibung und stoßartige Beanspruchungen im Beisein von Sand verursachen den Verschleiß. Den Verschleiß durch reine Reibung findet man bei Lagerstellen und in Ketten; bei den Kartoffelrodersieben und den Siebketten kommen noch die stoßartigen Beanspruchungen hinzu. Einmal fällt die Siebkette infolge der erforderlichen Schwingbewegungen u. U. schlagartig auf das Kettenrad, zum anderen treffen Kartoffeln und Steine immer wieder hart auf den Sieben auf. In beiden Fällen befindet sich Erde zwischen den Berührungsflächen, wobei wohl Quarzkörner zerschlagen und zerrieben und die Oberflächen der aufeinander treffenden Bauteile angegriffen werden. Von dem Gedanken ausgehend, daß durch Verwendung eines elastischen Werkstoffes bei einem der aufeinander schlagenden Bauelemente die Stöße gemildert werden und den Sandkörnern die Möglichkeit des Ausweichens gegeben wird, wurden an einer Kartoffelvollerntemaschine von Lanz entsprechende praktische Versuche durchgeführt.

Das elliptische Kettenrad in **Bild 7**, daß die Siebkette zum Auf- und Abschwingen bringt, wurde einmal in Gummi, zum anderen in Polyamid ausgeführt. Diese beiden Kettenräder liefen im Vergleich zu einem Kettenrad in der üblichen Graugußausführung. Gerodet wurden 200 Morgen Kartoffeln auf sandigem Heideboden. Die Größe und Form der Zahnradab-

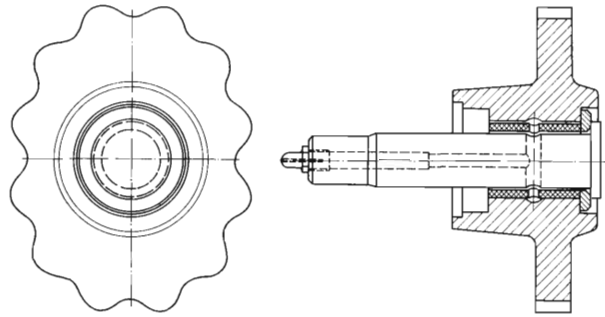


Bild 7. Elliptische Kettenräder für Siebroste.

nutzung zeigt **Bild 8**. Man erkennt den verhältnismäßig gleichmäßigen Werkstoffverlust der Zähne des Graugußrades (10%), dann den insgesamt zwar geringeren, aber auf dem Umfang ungleichmäßiger verteilten Verschleiß des Kunststoffrades sowie den sehr ungleichmäßig verteilten Werkstoffverlust beim Gummirad. Eine stichhaltige Erklärung für diese Unregelmäßigkeit des Verschleißes konnte noch nicht gefunden werden. Die Tatsache, daß gleich der erste, aus der großen zur Verfügung stehenden Zahl ausgewählte Kunststoff bzw. Gummi in seinem Gesamtverschleiß dem bisher verwendeten Grauguß gleichwertig bzw. überlegen war, war Veranlassung, die Versuche fortzusetzen. Es wurden – durch die Jahreszeit bedingt und wegen der Einfachheit – Laborversuche mit Kunststoff- und Gummibüchsen in einer eigens für diesen Zweck aufgebauten Schlag- bzw. Schlag-Reibungs-Prüfeinrichtung durchgeführt. **Bild 9** zeigt die Prüfeinrichtung, in der Sinterkorundscheiben (Korn 46, Gewicht 0,5 kg,

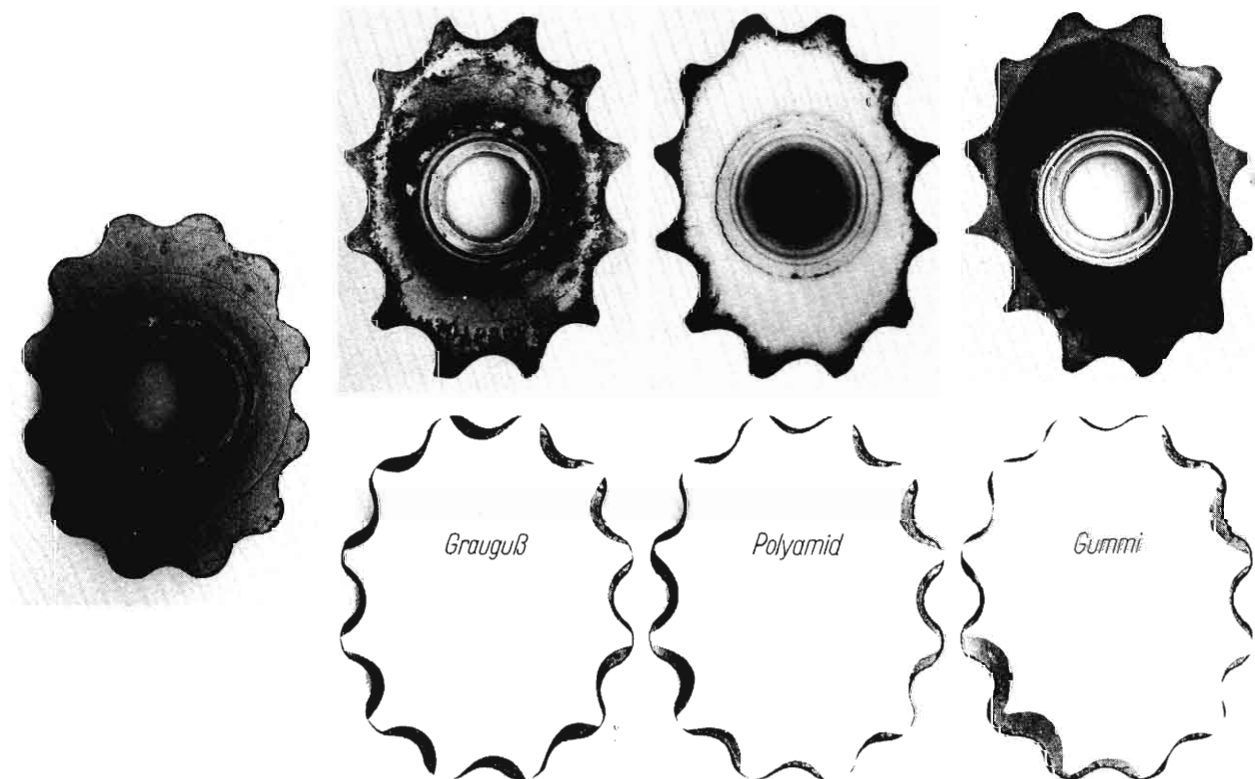


Bild 8. Elliptische Kettenräder aus Grauguß, Polyamid und Gummi nach der Ernte von 200 Morgen Kartoffeln. links: ein neues Kettenrad (Ausgangsprofil) oben: die abgenutzten Kettenräder unten: das Verschleissbild der Kettenräder

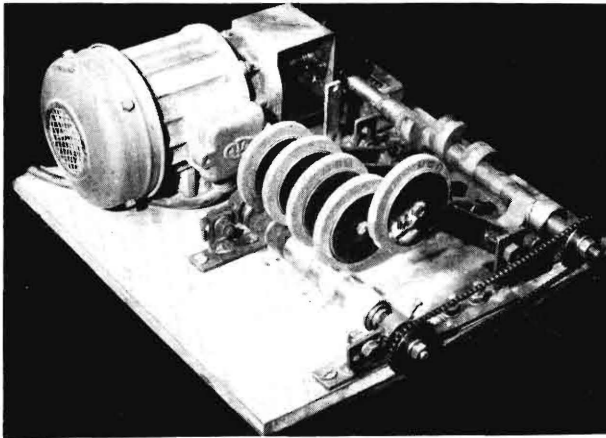


Bild 9. Versuchseinrichtung zum Prüfen von Kunststoffen auf Schlag- Reibungsverschleiß.
Die nicht drehbaren Sinterkorundscheiben (Korn 46) haben ein Gewicht von 0,5 kg und fallen aus einer Höhe von 50 mm auf die sich auf einer gemeinsamen Welle drehenden Kunststoff- bzw. Gummiprüfproben.

Fallhöhe 50 mm) auf die umlaufenden Buchsen aus dem zu prüfenden Werkstoff fallen. Nach 500 000 bzw. 250 000 Schlägen wurden die in **Tafel 6** genannten Verschleißwerte ermittelt.

Diese für das Vulkollan 30 sprechenden Versuchsergebnisse bedürfen noch der Bestätigung durch den praktischen Einsatz.

Rollenketten mit Kunststoffgleithülsen

Neben den Kettenrädern sind es die Ketten, die durch die landwirtschaftlichen Betriebsverhältnisse einem erheblichen Verschleiß unterworfen sind. Es soll hier weniger vom äußeren Verschleiß, als von den Verschleißvorgängen zwischen Kettenbolzen und -büchse die Rede sein. Sand, Wasser und chemische Stoffe sind die Elemente, die auf die Berührungsfäche zwischen Büchsen und Bolzen einwirken. Ihre zerstörende Wirkung zu mildern, ist eine lohnende Aufgabe.

Jede einzelne Kettenradumschlingung bringt für die einzelnen Kettenglieder eine Abwinkelung aus der Fluchrichtung um maximal 30° mit sich. Solange ein tragfähiger Schmierfilm zwischen Kettenbolzen und Kettenbüchse vorhanden ist, wird der Verschleiß in erträglichen Grenzen bleiben. Wo

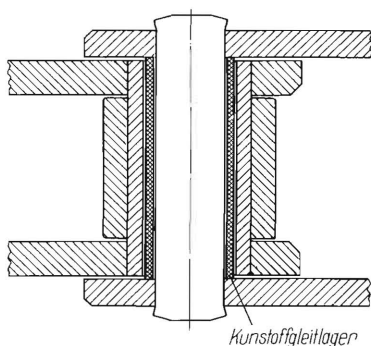


Bild 10. Schnitt durch ein Rollenkettenglied mit Gleithülse aus Kunststoff.

Tafel 6. Prüfung von Kunststoffen auf Schlag- und Reibungsfestigkeit.

Werkstoff	Schlagversuch Verschleisstiefe mm	Schlag-Reibungs-Versuch Verschleisstiefe mm
Polyamid	0,90	1,50
Gummi (wie bei Feldversuchen)	0,20	7,50
Gummi (aus I.K.W.-Reifen)	0,10	—
Vulkollan 18	0,20	0,20
Vulkollan 30	0,15	0,15
Vulkollan 40	0,25	0,15

aber wegen der ungünstigen Arbeitsbedingungen dieser Schmierfilm fehlt, muß ein größerer Kettenverschleiß, wie er sich bei Trockenlauf einstellt, hingenommen werden. Mit der zunehmenden Verwendung von Kunststoffbüchsen für Lagerzwecke war es naheliegend, daß man sich die dortigen Erfahrungen auch bei den mehr oder weniger trocken laufenden Rollenketten zunutze macht. Man ersetzte gewissermaßen den fehlenden Ölfilm zwischen Kettenbüchse und Kettenbolzen durch eine dünne, 0,5 mm starke Gleithülse aus Kunststoff, die zwischen Kettenbolzen und Kettenbüchse „schwimmend“, d. h. beiderseitig mit Spiel, eingelegt wird. Hieraus entstand eine Kettenkonstruktion nach **Bild 10**, bei der das nachteilige Reiben von Stahl auf Stahl wegfällt. Mit solchen Rollenketten, die mit und ohne Kunststoffgleithülsen ausgerüstet waren, wurden die folgenden Vergleichsversuche durchgeführt.

Den Aufbau des Versuchsstandes und ein Schema der eigentlichen Kettenverspannung zeigen **Bild 11** und **12**; außer den Laufversuchen wurden statische Zerreißprüfungen durchgeführt. Es wurden bisher Rollenketten $3/4 \times 7/6''$ und $41,4 \times 21$ mm mit und ohne Kunststoff-Gleithülsen geprüft.

Das Ergebnis der Zerreißversuche ist folgendes:

		Zerreißlast	
3/4''-Ketten	ohne Kunststoff-Gleithülse		3 200 kg
	mit „ „ „		2 300 kg
41,4 mm	ohne „ „ „		4 300 kg
	mit „ „ „		4 100 kg

Danach ist die Zerreißfestigkeit der beiden Ketten als gut zu bezeichnen. Während bei der Normalkette ohne Kunststoffhülse jeweils die Augen der Kettenlaschen ausreißen, brechen bei den neuen Ketten mit Kunststoffhülse die Kettenbolzen. Die Nachgiebigkeit des Kunststoffes läßt ein Verbiegen und damit ein Brechen der Bolzen zu.

Bei der ersten Serie der Laufversuche wurden die beiden 41,4 mm-Ketten mit je 300 kg bei einer Umlaufgeschwindigkeit von rund 1,45 m/s belastet. Die Ketten liefen im trockenen Sand. Dabei ergab sich folgende Längung der Ketten:

	Normalkette	Kunststoffkette
nach 60 Std.	0,40%	0,15%
„ 120 „	0,50%	—
„ 180 „	0,60%	0,25%

Bei der Messung der Kettentemperatur direkt nach dem Stillsetzen des Prüfstandes wurden folgende Werte ermittelt:

Temperatur in °C

	Normalkette	Kunststoffkette
Lasche	62	44
Büchse	46	41
Rolle	50	39

Eine Nachkontrolle der gelaufenen Ketten zeigte, daß die Längung der Normalkette nur auf Verschleiß zwischen Bolzen und Büchse zurückzuführen ist. Bei der Kunststoffkette war dagegen das Spiel in den einzelnen Lagern praktisch nicht meßbar.

Ein zweiter Versuch mit denselben Ketten im feuchten Sand bei einer Belastung von 500 kg führte zu umgekehrten Ergebnissen. Die Längung der Kunststoffkette betrug bereits nach 7 Stunden Laufzeit 1,4%, während die Normalkette sich nur um 0,8% gestreckt hatte. Eine nähere Untersuchung der gelaufenen Ketten zeigte, daß bei einer Belastung der Kette mit 500 kg (gleich einer Belastung von 2,3 kg/mm² des Kettenbolzens) der Kunststoff bei der durch die Reibung auftretenden Erwärmung zu fließen beginnt und seitlich zwischen den Kettenlaschen austritt.

Dieselbe Beobachtung wurde bei der 3/4"-Rollenkette gemacht. Auch hier trat bei 250 kg Kettenbelastung (gleich einer Belastung von 2,8 kg/mm² des Kettenbolzens) bei Sandlauf und einer Umlaufgeschwindigkeit von 2,2 m/s der Kunststoff seitlich aus.

Genügen die mit diesen Ketten bisher durchgeführten Versuche auch keineswegs für ein endgültiges Urteil, so ermutigen die vorstehenden Ergebnisse zum mindesten dazu, den hier mit Kunststoff beschrittenen Weg weiter zu verfolgen.

Kunststofflager

Die in Tafel 3 aufgezählten guten Eigenschaften der Kunststoffe ließen es auch vorteilhaft erscheinen, sie im Landmaschinenbau als Lagerbüchsen oder -schalen für Wellen einzusetzen. Es erscheint aber vorteilhaft — aufgrund unserer seitherigen Erfahrungen — einige Erkenntnisse vorzuschicken, die sich bei Verwendung von Kunststoff für Lager ergeben haben:

1. Jede Erwärmung der Lagerbüchsen führt zu einer Materialausdehnung. Darum soll beim Einbau das Lagerspiel von vornherein rund 1% des Wellendurchmessers betragen.
2. Solange sich die Lagerfläche des Kunststoffes nicht über 40°C erwärmt, kann man z.B. bei *Polyamid* mit ausgesprochen guten, verschleißarmen Laufeigenschaften rechnen. Das bedeutet,

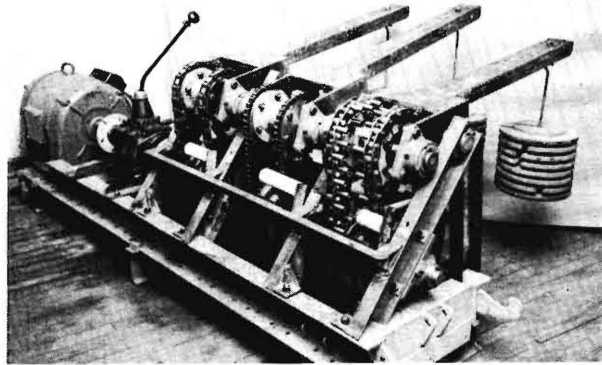


Bild 11. Dauerprüfstand zum Prüfen von Ketten auf Verschleiß.

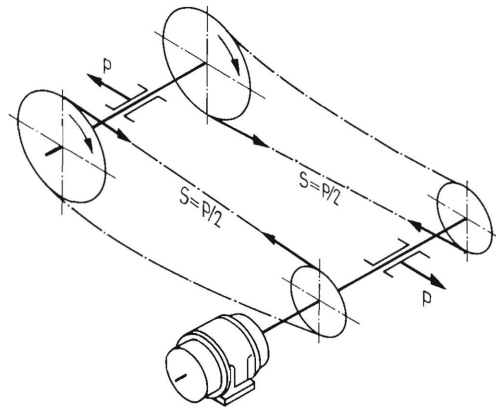


Bild 12. Belastungsschema zum Kettenprüfstand.

3. daß ein ausgesprochener Trockenlauf nur bei sehr kleinen Umlaufgeschwindigkeiten, d.h. etwa unter 0,05 m/s empfohlen werden kann.
4. Besser ist auf jeden Fall eine sehr wirksame Schmierung. Ob mit Öl oder Fett, sei zunächst dahingestellt, da auch diesbezügliche Untersuchungen bisher noch zu sehr divergierenden Ergebnissen geführt haben.
5. Nach unseren Erfahrungen sind bei Wellenumfangsgeschwindigkeiten von 0,5 m/s statische Belastungen bis zu 5 kg/cm² zulässig. In der Praxis braucht man allerdings selten mit einer statischen Belastung zu rechnen, da die Berührungslinie oder -fläche zwischen Welle und Lagerbüchse nur in den seltensten Fällen örtlich unverändert bleiben, somit eine örtliche Erwärmung der Lagerbüchse gar nicht vorliegt. In solchen Fällen erscheinen jedenfalls höhere Lagerdrücke ohne Bedenken zulässig.
6. Bei der Verwendung a) sauber gedrehter, b) geschliffener oder c) polierter Wellen konnten wir bei Lagerbüchsen aus *Polyamid* keine Änderung der Laufeigenschaften beobachten, obwohl diesbezüglich in der Fachliteratur sehr unterschiedliche Meinungen zu finden sind.

Es ist verfrüht, über die keineswegs durchsichtigen Ergebnisse, die bei Untersuchungen in einem Lagerprüfstand (Bild 13) mit *Polyamid* (auch *Polyurethan* u.a.) gewonnen wurden, zahlenmäßige Angaben zu machen. Es kann aber über im Feldbe-

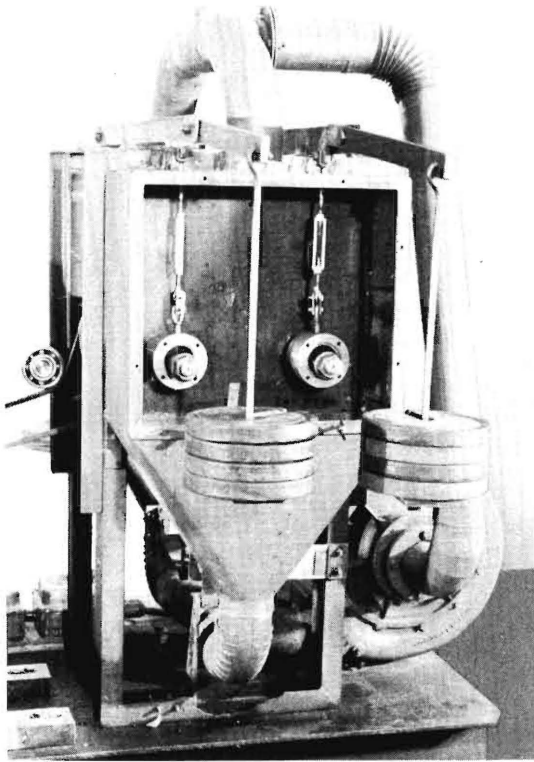


Bild 13. Dauerprüfstand für Lager mit Staubkammer.

trieb erfolgreich verlaufene Lagerversuche berichtet werden. Es handelt sich dabei um die langsam umlaufenden, schwimmend angeordneten Kunststofflagerbüchsen der früher erwähnten elliptischen Kettenräder (Bild 7). Gleichzeitig mit den dort erwähnten Kettenradversuchen liefen zwei *Polyamid*-büchsen im Vergleich zu den sonst gebräuchlichen, einsatzgehärteten Stahlbüchsen. Die Umdrehungszahl der Kettenräder lag bei 20 U/min, die Umfangsgeschwindigkeit der Kunststoffbüchse demnach bei 0,05 m/s. Die statische Belastung kann mit 100 kg, das sind 12 kg/cm², angenommen werden. Es wurde in üblicher Weise mit Fett geschmiert, trotzdem ließ es sich nicht vermeiden, daß einzelne Sandkörner in die Lagerstelle eingedrungen sind.

Der unterschiedliche Verschleiß der beiden Büchsen aus *Polyamid* und gehärtetem Stahl ist in **Bild 14** deutlich zu erkennen. Bei einem Ausgangsmaß von 35,0 mm Außendurchmesser hatte die Stahl-

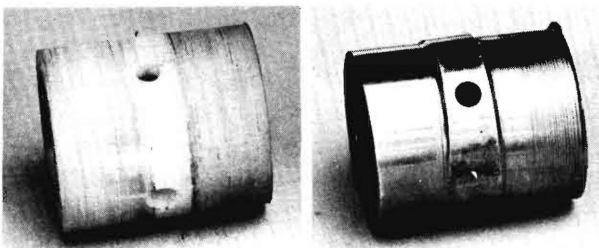


Bild 14. Kettenrad-Lagerbüchsen aus der Siebrostlagerung eines Kartoffelroders nach 200 Morgen Arbeitsleistung.
links: *Polyamid*büchse
rechts: einsatzgehärtete Stahlbüchse

büchse nach der Arbeit 33,4 bis 35,0 mm ϕ (oval) und die *Polyamid*büchse 34,7 mm ϕ (rund). Die Versuchsbedingungen waren absolut gleich.

Ein anderer Versuch, den wir auf einem Dauerfestigkeitsprüfstand für Räder, dem sogenannten Rumpelprüfstand, führen, erfolgte mit einem normalen Eisenrad einer Drillmaschine, **Bild 15**. Zwischen Achse und Radnabe wurde eine vor dem Einbau gefettete *Polyamid*büchse mit 2,0 mm Wandstärke eingebaut. Bei einer gleichbleibenden Umfangsgeschwindigkeit von 0,04 m/s wurde die Büchse in den ersten 100 Stunden mit 25 kg/cm² belastet. In den zweiten 100 Stunden wurde die Belastung auf 50 kg/cm² und in den folgenden 50 Stunden auf 75 kg/cm² eingestellt.

Während dieser Versuche mußten sämtliche Speichen ersetzt und verstärkt werden. Bei der letzten Belastungsstufe verbog sich die serienmäßige Welle; auch die Eisenfelge hielt die Belastung nicht aus. Dagegen war eine Abnutzung der *Polyamid*büchse nicht festzustellen; außer nach 100 bzw. 200 Stunden erfolgte keine weitere Schmierung.

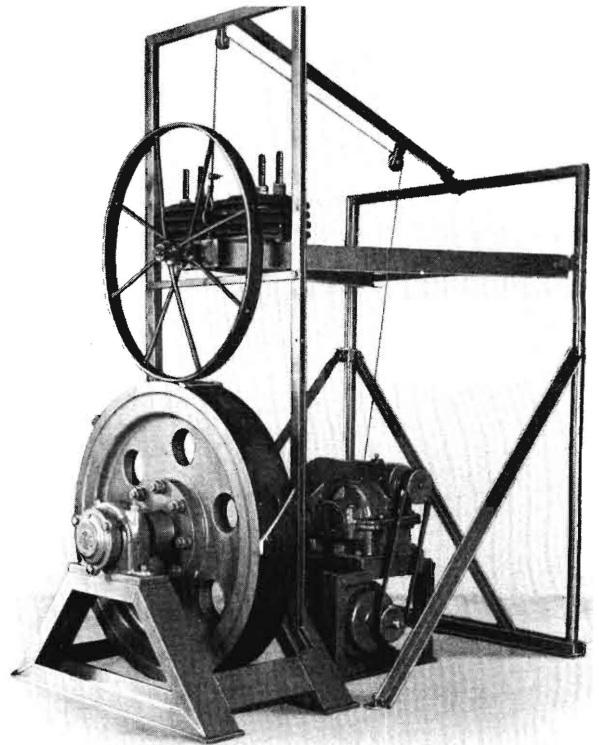


Bild 15. Dauerfestigkeitsprüfstand für Landmaschinen-Fahrräder.

Diese beiden positiven Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß weder Verschmutzung noch maximaler Lagerdruck, sondern nur hohe Gleitgeschwindigkeiten der Verwendung von Kunststoff – besser gesagt, Lagern aus *Polyamid* – Grenzen setzen. Hohe Umfangsgeschwindigkeit bedeutet große Erwärmung, darauf reagiert zumindest *Polyamid* negativ.

Aber nicht nur bei kleineren Konstruktionsteilen hat der Kunststoff in der Landtechnik Eingang gefunden, sondern auch bei großen Formstücken, wie der Förderkanal eines englischen Feldhäckslers [6] beweist, dessen Wände aus glasfaserverstärktem Polyesterharz bestehen (Bild 16). Dieser Kunststoff ist aufgrund seiner technologischen Eigenschaften (Korrosionsunempfindlichkeit, Elastizität, einfacher Formbarkeit) für solche Zwecke ein besserer Werkstoff als das bisher verwendete Stahlblech.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich nicht nur im allgemeinen Maschinenbau sondern ganz besonders im Landmaschinenbau für die Kunststoffe eine Vielfalt von Anwendungsmöglichkeiten eröffnen, bei denen sie besser geeignet sind als die seither verwendeten Werkstoffe. Vorbedingung ist allerdings die klare Erkenntnis, daß die Kunststoffe in Konstruktion und Betrieb anderen Gesetzmäßigkeiten folgen als die konventionellen Werkstoffe, und daß man ihre besonderen Eigenarten bei der Formgebung, der Bearbeitung usw. beachtet.

Schrifttum

- [1] *Jakobi, H. R.*: Neue Erkenntnisse über Gleiteigenschaften von Polyamiden. *Kunststoffe* 47 (1957) H. 5, S. 234/39
- [2] *Mäkel, H.*: Die Anforderungen an Gleitlager, insbesondere aus Kunststoffen. *Z. VDI* 94 (1952) Nr. 5, S. 138/145, Zahlentafel 1.

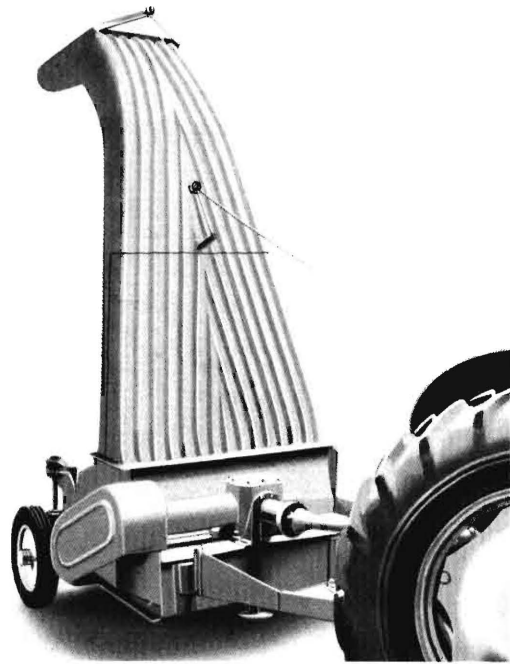


Bild 16. Förderkanal eines englischen Feldhäckslers aus glasfaserverstärktem Polyesterharz.

- [3] *Weber, W.*: Kunststoffgetränkte Gleitlagerbaustoffe. *Konstruktion* 8 (1956) H. 12, S. 507/509.
- [4] *Jakobi, H. R.*: Maschinenelemente aus thermoplastischen Kunststoffen. *VDI-Z.* 98 (1956) Nr. 12, S. 514/525.
- [5] DIN 51 211, Prüfung von Drähten, Hin- und Herbiegeversuch. 2. Ausgabe November 1934.
- [6] „Farm Implement and Machinery Review“, London Nov. 1957.

Institut für landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Anschrift des Verfassers: Dr.-Ing. Ruprecht Finkenzeller, Mannheim

Spannungs- und Verformungsfelder als Grundlage der festigkeitsgerechten Gestaltung von Landmaschinen

Von Willi Kloth

Wir alle haben noch auf der Schule gelernt: „man nehme die Kraft, dividiere sie durch den Querschnitt oder das Widerstandsmoment und erhält die Spannung“. Wenn sie kleiner ist als die für den benutzten Werkstoff „zulässige“ Spannung, so hält die Maschine bzw. das betreffende Maschinenteil.

Dieses Rezept war ganz brauchbar, bis durch die steigenden Drehzahlen und Beanspruchungen bereits weit unter der Streckgrenze des Werkstoffes Brüche auftraten. Sie wurden auf eine Ermüdung des Werkstoffes zurückgeführt und „Dauerbrüche“ genannt. *Professor Thum* in Darmstadt stellte fest, daß ihr Auftreten von der Gestalt des betroffenen Bauteiles abhängt und prägte den Ausdruck „Ge-

staltfestigkeit“. Er sagte, daß der Werkstoff in einer bestimmten Gestalt eine andere Festigkeit habe, als man beim Zerreißversuch mit der genormten Probe feststelle. Heute drückt man diese Erscheinung etwas anders aus, indem man sagt, daß die Spannungen, denen die Werkstoffe in der Gestalt eines Maschinenteiles ausgesetzt sind, andere sind, als die, die sich bei der einfachen Berechnung ergeben.

Damit ist zum Ausdruck gebracht, daß man die wirkliche Spannung an den einzelnen Punkten der Maschinenteile kennen muß. Leider kann man sie nicht durch so einfache Berechnungen, wie man sie früher durchführte, bestimmen. Die „Spannungs-