

# Gleitlager aus Kunststoff und ihr Einsatz in Staubatmosphäre

Von **Bernd Mittelbach**, Aachen<sup>1)</sup>

Landmaschinen weisen heute noch durch das Abschmieren vieler Lagerstellen einen hohen Anteil an Pflegearbeiten auf, der mit Hilfe von Kunststofflagern vermindert werden kann. Es wurde deshalb die Verwendungsmöglichkeit von Gleitlagern aus thermoplastischen Kunststoffen im Landmaschinenbau untersucht. Dabei zeigte sich, daß Kunststofflager im Trockenlauf nur bei sehr geringen Belastungen einsetzbar sind. Mit relativ zur Belastung umlaufenden Kunststoffschichten, die beim Einbau mit Fett geschmiert werden, lassen sich aber mittlere Belastungen und ausreichende Laufzeiten erzielen. Durch Staub nimmt der Verschleiß stark zu, doch verhalten sich Kunststofflager — insbesondere bei größerer Staubbkörnigkeit — durch Einbetten der Fremdkörper besser als Metallager. Als Gegenauflflächen sind besonders bei Staubeinwirkung möglichst harte, geschliffene Stahlflächen zu verwenden.

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Einmalige Fettschmierung
- 3 Feststehende und mit Welle umlaufende Büchse
- 4 Belastbarkeit und Verschleiß
- 5 Staubeinfluß
- 6 Zusammenfassung
- 7 Schrifttum

### 1 Einleitung

Seit Jahren werden versuchsweise Kunststoffe für Gleitlager verwendet. Erste Untersuchungen reichen bis in die 30er Jahre zurück und dienten lediglich dem Zweck, Buntmetalle zu sparen und durch diesen neuen Werkstoff zu ersetzen. Das Ziel neuerer Untersuchungen mit Kunststoffgleitlagern ist die Entwicklung von Lagern, mit denen Probleme beseitigt werden können, die mit Metallagern nicht oder nur unzufriedenstellend gelöst werden konnten. Zu diesen Problemen zählen das Gebiet der Mangelschmierung und der negative Einfluß, den eine Staubatmosphäre auf das Laufverhalten eines Lagers ausübt.

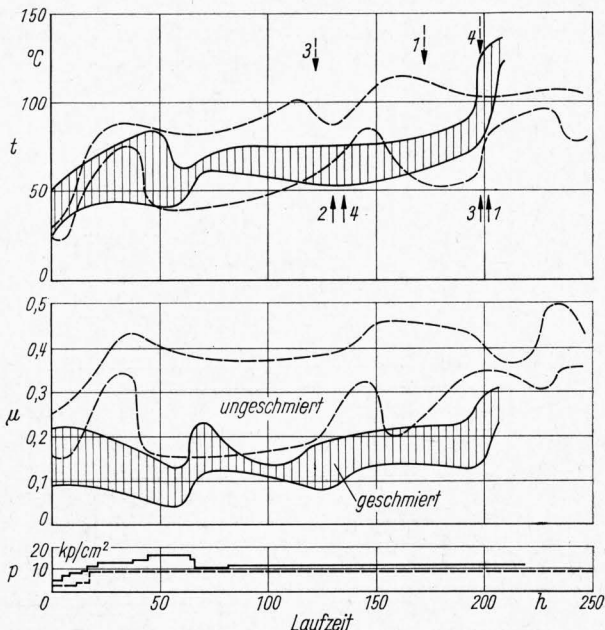
Die Versuche, über die hier berichtet wird, wurden am ehemaligen Institut für Landtechnik der Technischen Hochschule Aachen (Direktor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Hans Sack, i. V. Prof. Dr.-Ing. E. Essers) durchgeführt und stellen die Fortführung von Untersuchungen dar, die sich mit dem Trockenlauf von Lagern mit feststehender Kunststoffbüchse befaßten [7; 8]. Dabei fand der gleiche Prüfstand Verwendung, der auch bei den bisherigen Versuchen benutzt wurde [8]. Auf ihm können bei ruhender Belastung gleichzeitig fünf zylindrische Gleitlager untersucht und deren Reibkraft und Lagertemperatur gemessen werden. Im Rahmen des Versuchsprogramms soll der Einfluß einer einmaligen Fettschmierung beim Einbau und der konstruktiven Gestaltung des Lagers auf das Laufverhalten untersucht und die Frage geklärt werden, inwieweit thermoplastische Kunststoffe imstande sind, Fremdkörper in sich einzubetten und dadurch den schädlichen Staubeinfluß (erhöhte Reibung und Verschleiß) zu vermeiden. Für die Versuche kamen Buchsen aus Polyacetal-Harz zum Einsatz, die entweder in das feststehende Lagergehäuse ein- oder auf die Welle aufgedreht wurden, ferner außen kreuzgerändelte und mit Polyamid gesinterte Stahlbuchsen, die mit Preßpassung auf die Welle geschoben wurden.

<sup>1)</sup> Vorgetragen auf der VDI-Tagung Landtechnik in Braunschweig am 13. Oktober 1967

Dipl.-Ing. Bernd Mittelbach ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für hydraulische und pneumatische Antriebe und Steuerungen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Backé) der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

### 2 Einmalige Fettschmierung

Der Einfluß einer einmaligen Fettschmierung auf das Laufverhalten wurde an Lagern aus feststehenden Hostaform-C-Büchsen<sup>2)</sup> untersucht. Nach den Versuchen kann durch die Fettschmierung der Reibbeiwert auf die Hälfte vermindert werden, **Bild 1**. Da die Fettschicht von den einzelnen Lagern aber verschieden lange gehalten wird, kommen diese nach unterschiedlichen Laufzeiten in den Bereich der Trockenreibung und fallen mit gleicher Streuung wie im ungeschmierten Zustand nach 130 bis 210 h aus. Entsprechend den geringeren Reibbeiwerten



**Bild 1.** Vergleich ungeschmierter bzw. beim Einbau einmalig mit Fett geschmierter Gleitlager aus feststehenden Hostaform-C-Büchsen. Streufelder für Lagertemperatur  $t$ , Reibbeiwert  $\mu$  und Lagerbelastung  $p$  in Abhängigkeit von der Laufzeit.

Gegenauflfläche: Stahl, ungehärtet  
 Rauigkeit der Lauffläche:  $R_{tm} = 2$  bis  $4 \mu\text{m}$   
 Wellendurchmesser:  $d = 35 \text{ mm}$   
 Streufeld aus fünf Lagern

Lager	Belastung $p$ kp/cm <sup>2</sup>	Drehzahl $n$ U/min	Gleitgeschwindigkeit $v$ m/s	Kennwert $pv$ $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$
ungeschmiert	9	96	0,18	1,6
geschmiert	12	140	0,25	3,0

Die Pfeile geben den Zeitpunkt des Ausfalls eines ungeschmierten (gestrichelte Pfeile) bzw. eines geschmierten Lagers (ausgezogene Pfeile) an.

konnte bei den Versuchen die Belastung der geschmierten Lager bei Einhaltung etwa gleicher Grenztemperaturen höher als bei den ungeschmierten Lagern gewählt werden, **Bild 1**. Damit waren die Lager im geschmierten und ungeschmierten Zustand einer höheren Belastung ausgesetzt, als sie von der Herstellerfirma für diesen Werkstoff als zulässig erachtet wird, um Vergleichsmöglichkeiten zu früheren Versuchen zu erhalten. Bleibt man bei Hostaform-Lagern mit der Lagerbelastung unter den von der Herstellerfirma angegebenen Werten<sup>3)</sup>, können Schmierintervalle von etwa 100 bis 150 h als ausreichend angesehen werden.

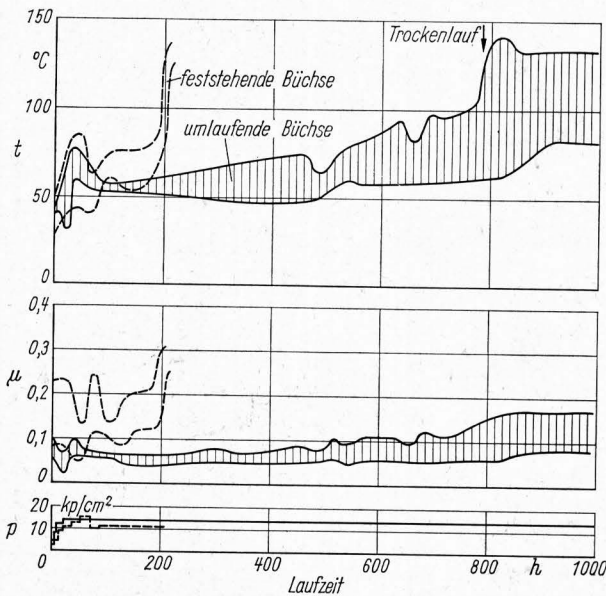
<sup>2)</sup> siehe Seite 142

<sup>3)</sup>  $pv^{1,2} \approx 2,1 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

### 3 Feststehende und mit Welle umlaufende Büchse

Größere Schmierintervalle scheinen bei Gleitlagern mit feststehender Kunststoffbüchse ohne stärkere Schädigung des Lagers nicht vertretbar zu sein. Die Verhältnisse verbessern sich aber bedeutend, wenn statt der feststehenden Kunststoffbüchse eine mit der Welle umlaufende Kunststoffschicht verwandt wird.

Bei Lagern dieser Konstruktion ergeben sich geringere Reibbeiwerte und Lagertemperaturen und dadurch bedingt größere Belastbarkeiten. Die Lebensdauer solcher Lager liegt bedeutend höher als bei Lagern, bei denen die Kunststoffbüchse im Lagergehäuse feststeht. Die Unterschiede zwischen den Werten verschiedener Lager aus dem gleichen Material sind sowohl für den Reibbeiwert wie auch die Lebensdauer gering. Die besten Leistungen lassen sich mit gehärteten, geschliffenen Gegenläufigen aus Stahl erzielen, deren Rauigkeiten  $R_{tm} = 1,5$  bis  $3 \mu\text{m}$  betragen<sup>4)</sup>. Brauchbare Ergebnisse sind jedoch auch mit Präzisionsstahlrohren nach DIN 2391 erreichbar, die, mit Schmirgelleinen gereinigt, Rauigkeiten in der gleichen Größenordnung aufweisen. Der Nachteil der ungehärteten Laufflächen liegt in einer allmählich erfolgenden Vergrößerung der Rauigkeit, die die Lebensdauer ungünstig beeinflusst [3].



**Bild 2.** Vergleich von Gleitlagern mit feststehender und (mit der Welle) umlaufender Hostaform-C-Büchse. Streufelder von fünf Lagern für Lagertemperatur, Reibbeiwert und Lagerbelastung in Abhängigkeit von der Laufzeit.

Gegenläufige: Stahl, ungehärtet  
Rauigkeit:  $R_{tm} = 2$  bis  $4 \mu\text{m}$   
Wellendurchmesser:  $d = 35 \text{ mm}$   
Drehzahl:  $n = 140 \text{ U/min}$

Alle Lager wurden beim Einbau einmalig mit Fett geschmiert. Das Streufeld der feststehenden Büchse ist dasselbe wie das schraffierte in Bild 1.

(Zu Seite 141)

<sup>2)</sup> HOSTAFORM-C ist das Acetalmischpolymerisat der Farbwerke Hoechst und das ebenfalls untersuchte ULTRAMID das Polyamid der Badischen Anilin- & Soda-Fabriken. HOSTAFORM und ULTRAMID sind Firmenbezeichnungen für die entsprechenden Werkstoffe. Beide Werkstoffe zeigen Ähnlichkeiten in ihren Eigenschaften; der größte Unterschied liegt in der Wasseraufnahme. Die Werkstoffe besitzen folgende Eigenschaften:

	HOSTAFORM-C	ULTRAMID*)	
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	1,41	1,14
E-Modul	kp/cm <sup>2</sup>	$30 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$ bis $28 \cdot 10^3$
Grenzbiegespannung	kp/cm <sup>2</sup>	ca. 1100	300 bis 1100
Kugeldruckhärte	kp/cm <sup>2</sup>	ca. 1400	300 bis 1000
Formbeständigkeit in der Wärme (DIN 53461, Verf. B)	°C	85	—
max. Gebrauchstemperatur	°C	—	80 bis 100
Wärmeleitfähigkeit	kcal/mh °C	0,37	0,2 bis 0,25
Wasseraufnahme nach 24 h (DIN 53472)	%	0,3	1,5 bis 7,0

\*) Streuung je nach Feuchtigkeit und Typ

Die Versuche wurden mit Lagern durchgeführt, bei denen eine 2 mm dicke Hostaform-C-Büchse auf die Welle aufgepreßt wurde und mit Lagern, bei denen eine 0,25 mm dicke Ultramid-Schicht auf die Welle aufgesintert worden war. Die Lager wurden beim Einbau mit Fett geschmiert. Den Versuchen mit der umlaufenden Hostaform-C-Büchse wurden solche mit einer gleichdicken feststehenden Hostaform-C-Büchse gegenübergestellt, **Bild 2**.

Die Unterschiede, die sich durch die Anordnung der Kunststoffschicht ergeben, lassen sich auf Bild 2 erkennen. Während nach einer Laufzeit von 150 h das erste Lager mit feststehender Kunststoffbüchse bereits ausgefallen ist (s. a. Bild 1) und die übrigen Lager Reibbeiwerte zwischen 0,125 und 0,21 aufweisen, liegen die Werte bei den Lagern mit umlaufender Kunststoffbüchse zwischen 0,04 und 0,06. Die Unterschiede in der Temperatur sind nicht so groß, was sich hauptsächlich aus der Tatsache erklärt, daß bei den Lagern mit feststehender Kunststoffbüchse die Temperatur hinter der wärmedämmenden Kunststoffschicht gemessen und dadurch ein zu kleiner Wert bestimmt wurde.

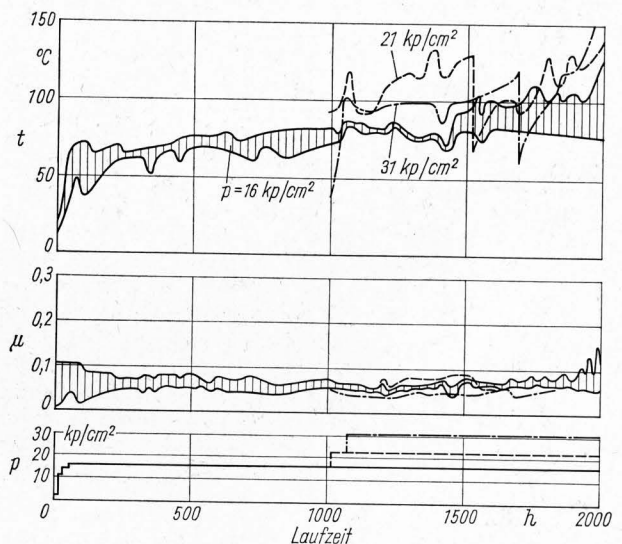
Sehr groß ist dagegen der Unterschied zwischen dem stündlichen Abrieb der verschiedenen Lagerungen. Während die umlaufende Büchse nur einen Abrieb von  $0,3 \mu\text{m/h}$  aufweist (radial gemessen und auf den halben Lagerdurchmesser bezogen), zeigt die feststehende einen solchen von 9,5 bis  $15,5 \mu\text{m/h}$ . Selbst unter Berücksichtigung der Tatsache, daß bei der umlaufenden Büchse eine 4- bis 5mal größere Fläche an dem Abrieb beteiligt ist als bei der feststehenden, bleibt noch eine deutliche Differenz. Entsprechend dem geringen Abrieb weisen deshalb die Lager mit umlaufender Kunststoffbüchse mit mehr als 1000 h eine bedeutend größere Lebensdauer auf.

Bedingt durch die größere Angriffsfläche und den kleineren Abrieb ist es nun möglich, auch mit sehr dünnen Kunststoffschichten eine ausreichende Lebensdauer von Gleitlagern zu erzielen. Diese dünnen Schichten besitzen zudem eine geringere

<sup>4)</sup> Die Rauigkeit  $R_t$  stellt den Abstand zwischen der höchsten Rauigkeitsspitze und dem tiefsten Rauigkeitstal einer gewählten Rauigkeitsbezugsstrecke dar. Da sich die eigentliche Meßstrecke aus  $n$  Bezugsstrecken zusammensetzt, ergibt sich die mittlere Rauigkeit  $R_{tm}$  zu

$$R_{tm} = \frac{\sum R_t}{n}$$

Die Rauigkeit  $R_t$  bzw.  $R_{tm}$  zeigt eine gewisse Abhängigkeit von der gewählten Größe der Bezugsstrecke, so daß diese für Vergleichsmessungen stets konstant gewählt werden sollte. Im vorliegenden Fall besaß sie eine Länge von  $250 \mu\text{m}$ .



**Bild 3.** Gleitlager mit umlaufender Polyamidschicht. Streufelder von fünf Lagern für Lagertemperatur und Reibbeiwert bei während des Versuches erhöhter Lagerbelastung.

Gegenläufige: Präzisionsstahlrohr (DIN 2391)  
Schmierung: einmalige Fettschmierung beim Einbau  
Rauigkeit:  $R_{tm} = 2,6 \mu\text{m}$   
Wellendurchmesser:  $d = 35 \text{ mm}$   
Drehzahl:  $n = 140 \text{ U/min}$



Wärmedämmung, die Reibungswärme kann besser abgeleitet werden, wodurch sich das Laufverhalten weiter verbessert.

#### 4 Belastbarkeit und Verschleiß

In einem weiteren Versuch wurden Gleitlager mit einer sehr dünnen umlaufenden Polyamidschicht eingesetzt, die gegen ein mit Schmirgelleinen gereinigtes bzw. geglättetes Präzisionsstahlrohr nach DIN 2391 lief. Nach einer Laufzeit von 1000 h wurde bei drei Lagern die Belastung von anfänglich 16 kp/cm<sup>2</sup> auf 21 bzw. 31 kp/cm<sup>2</sup> erhöht, während die übrigen mit der Anfangsbelastung bis zum Versuchsende liefen, **Bild 3**. Man erkennt das ausgezeichnete Laufverhalten dieser Lager. Bei Reibbeiwerten zwischen 0,05 und 0,08 und Temperaturen zwischen 60 und 80°C erreichen alle Lager bis auf eins, bei dem sich — wahrscheinlich aufgrund eines Fertigungsfehlers — nach 1100 h die Kunststoffschicht von der Welle löste, Laufzeiten von ungefähr 2000 h. Der Verschleiß als Verkleinerung des halben Durchmessers ist sehr gering und erhöht sich von anfänglich 0,01 bis 0,015 µm/h aufgrund des höheren Abriebs im zweiten Versuchsabschnitt auf Werte zwischen 0,013 bis 0,025 µm/h für die gering belasteten Lager und auf 0,1 bis 0,17 µm/h für die höher belasteten Lager. Sämtliche Gegenauflflächen weisen bei Versuchsende größere Rauigkeiten auf als bei Versuchsbeginn, wobei die Unterschiede bei den niedrigeren Belastungen größer sind als bei den höher belasteten Lagern.

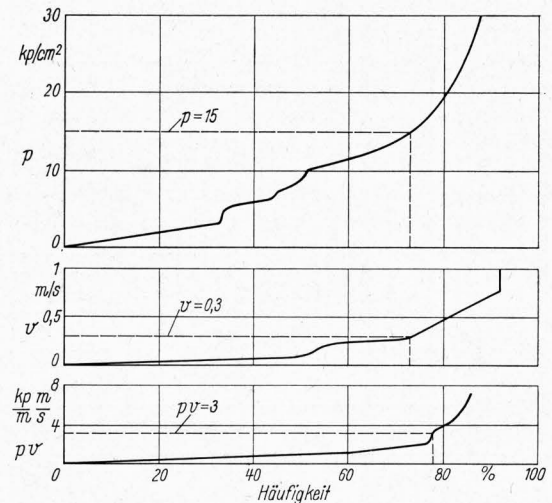
Die Grenze der Belastbarkeit dieser Polyamidlager liegt nach Versuchen mit gehärteten, geschliffenen Gegenauflflächen aus Stahl für Gleitgeschwindigkeiten von 0,25 m/s bei einem  $pv$ -Wert von  $10 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Bei höheren Geschwindigkeiten von etwa 0,38 m/s

sollte der  $pv$ -Wert unter  $8 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$  bleiben. Bei diesen Belastungen kann bei einmaliger Fettschmierung eine Laufzeit von 2000 h erwartet werden. Auf das Streufelddiagramm dieses Versuches kann verzichtet werden, da es nicht wesentlich von dem für eine Gegenauflfläche aus Präzisionsstahlrohr (**Bild 3**) abweicht. Auffallend ist nur, daß bei gehärteten, geschliffenen Gegenauflflächen der Reibbeiwert mit steigender Belastung merklich sinkt und bei Lagerdrücken von 33 kp/cm<sup>2</sup> auf Werte zwischen 0,01 und 0,03 abfällt.

Mit diesen Werten liegt man aber weit höher, als es im Landmaschinenbau oft erforderlich ist. In **Bild 4** sind als Beispiel für Lagerbelastungen an Landmaschinen die Ergebnisse von Untersuchungen über die Lagerbelastungen an einem Mährescher aufgetragen. Es zeigt sich, daß die meisten Lager geringe Lagerdrücke und Gleitgeschwindigkeiten aufweisen. So bleiben annähernd 80% aller Lager mit ihren Belastungen unter  $p = 15 \text{ kp/cm}^2$  und  $v = 0,3 \text{ m/s}$ . Bei 50% aller Lager liegen diese Werte sogar unter  $p = 10 \text{ kp/cm}^2$  bzw.  $v = 0,2 \text{ m/s}$ . Da größere Gleitgeschwindigkeiten meist mit geringen Lagerdrücken und umgekehrt zusammentreffen, liegen die Lager auch in bezug auf ihren  $pv$ -Wert günstig, so daß nahezu 80% der Lager unter einem Wert von  $3 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} \frac{\text{m}}{\text{s}}$  bleiben.

Für das gute Laufverfahren der Gleitlager mit umlaufender Kunststoffschicht ist die bessere Wärmeableitung dieser Konstruktion verantwortlich. Nach allgemeiner Ansicht [10; 12] wird der größte Anteil der Reibungswärme durch den Lagerträger abgeführt, so daß eine Kunststoffschicht auf der Welle die Wärmeableitung weniger behindert. Ferner dürfte von Bedeutung sein, daß bei einer relativ zur Belastung umlaufenden Kunststoffschicht die jeweilige Beanspruchungszone des Kunststoffes nur kurzzeitig belastet wird und während eines Umlaufs wieder abkühlen kann. Während bei einer punkt- oder linienförmigen Wärmequelle (Druckzone des Lagers) sich die Wärmeenergie infolge der guten Wärmeleitfähigkeit im feststehenden Metallteil auf das ganze Lager verteilen kann, tritt bei einer feststehenden Kunststoffbüchse ein Wärmestau auf, wodurch sich an der Berührungsstelle bedeutend höhere Temperaturen ergeben als bei einem Lager mit umlaufender Kunststoffschicht. Da aber die Verschleißfestigkeit von Kunststoffen mit der Tem-

peratur abnimmt [5] und auch der Reibbeiwert von ihr ungünstig beeinflusst wird, ergeben sich bei diesen Lagern ein geringerer Verschleiß und niedrigere Reibbeiwerte. Für die große Lebensdauer dieser Lager ist daneben noch die Tatsache verantwortlich, daß bei ihnen eine 4- bis 5mal größere Kunststofffläche dem Verschleiß ausgesetzt ist und dadurch bei gleichem Abriebvolumen ein bedeutend geringerer Durchmesserabrieb auftritt.



**Bild 4.** Verteilung der Lagerdrücke, der Gleitgeschwindigkeiten und der  $pv$ -Werte bei den Lagern eines Mähreschers.

#### 5 Staubeinfluß

Die bisherigen Betrachtungen über Kunststoffgleitlager gelten aber nur für den staubfreien Einsatz. Es erhebt sich die Frage, wie sich Kunststofflager unter Staubeinfluß verhalten.

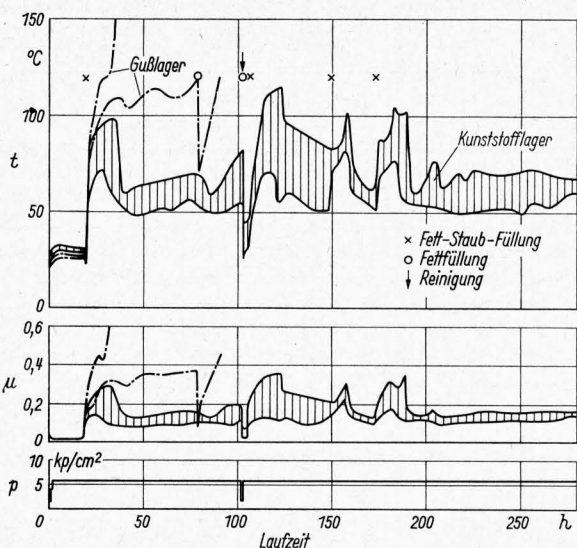
Zur Untersuchung dieser Frage wurde in ersten Versuchen geprüft, ob Kunststofflager Staub in sich einbetten, welchen Einfluß die Körnung des Staubes ausübt und welche Schäden trotz eventueller Einbettung an den Lagern auftreten. Kunststofflager mit auf der Welle aufgesinterter Ultramidsschicht wurden dabei Graugußlagern gegenübergestellt. Die Gegenauflflächen aus Stahl waren gehärtet und geschliffen. Um eine möglichst gleichmäßige Staubmenge in jedes Lager einbringen zu können, wurde den Lagern nach kurzer Einlaufzeit mit reinem Fett viermal in Abständen von 30 bis 50 h eine definierte Menge von 1,5 g eines Staub-Fett-Gemisches (Staub-Fett-Verhältnis = 1:4) zugeführt.

Die meisten in der Praxis vorkommenden Stäube enthalten etwa 70% Quarz, der mit einer Vickershärte von 900 bis 1280 kp/cm<sup>2</sup> den schädlichsten Bestandteil in bezug auf Verschleiß darstellt [1; 11]. Für Landmaschinen sind dabei besonders Korngrößen bis 100 µm interessant, weil Staub bis zu dieser Körnung auf dem Acker bis in Maschinenhöhe aufgewirbelt wird [2]. In den Versuchen wurde deshalb Quarzmehl verwandt, das in den Fraktionen 0 bis 14, 14 bis 33, 63 bis 80 und 100 bis 125 µm vorlag. Die Lager liefen damit bis zu ihrem Ausfall bzw. bis zum Versuchsende nach rund 200 h. Bei einer Gleitgeschwindigkeit von 0,25 m/s wurde wegen der zu erwartenden ungünstigen Staubeinflüsse eine geringere Belastung von nur 6 kp/cm<sup>2</sup> gewählt.

Als charakteristisch für die Versuche mit einer Körnung > 20 µm mag der Versuch mit einer Stauffraktion von 100 bis 125 µm gelten, **Bild 5**. Nach jeder Staubeinbringung steigt der Reibbeiwert stark an. Bedingt durch die erhöhte Reibung, nimmt die Lagertemperatur entsprechend zu. In dem Augenblick, in dem das Kunststofflager eine Temperatur von 90 bis 100°C erreicht, fällt der Reibbeiwert plötzlich ab und nimmt fast Werte in der Größe des staubfreien Laufes an.

Aus diesem Verhalten muß geschlossen werden, daß bei diesen Temperaturen die Festigkeit des Kunststoffes so weit abgesunken ist, daß eine Einbettung der Staubpartikel erfolgen kann. Der große Streubereich der Temperatur zwischen 70 und 120°C darf dabei nicht irritieren. Er stellt keinen Streubereich für diese Erscheinung dar, sondern ergibt sich dadurch, daß die

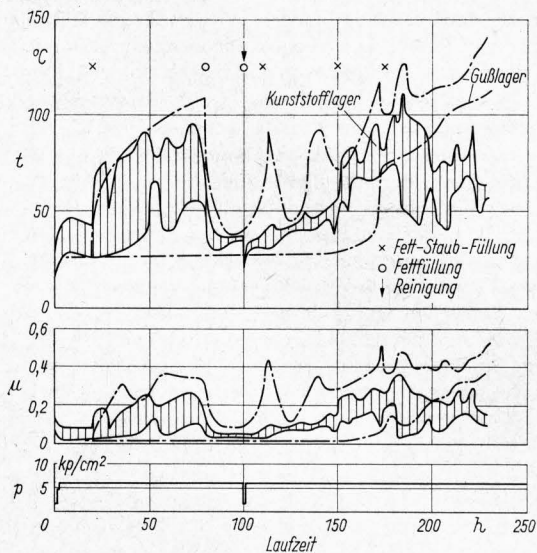
einzelnen Kunststofflager die erforderliche Einbettungstemperatur nicht exakt zur gleichen Zeit erreichen, d. h., daß im Augenblick der Einbettung bei einem Lager die anderen Lager die erforderliche Temperatur noch nicht erreicht oder aber auch schon überschritten haben.



**Bild 5.** Vergleich von Gleitlagern mit auf der Welle aufgesinterter Ultramidsschicht und Graugußlagern (GG 22) in Staubatmosphäre.

Staub: Quarzmehl, Körnung 100 bis 125  $\mu\text{m}$   
Gegenläufige: Stahl, gehärtet und geschliffen  
Wellendurchmesser:  $d = 35 \text{ mm}$   
Drehzahl:  $n = 140 \text{ U/min}$   
Streifelder aus drei Kunststoff- bzw. zwei Graugußlagern

Anders als die Kunststofflager verhalten sich die Graugußlager. Durch Staubeinwirkung erhöhen sich auch bei ihnen Reibbeiwert und Temperatur. Da ein Einbetten aber nicht erfolgen kann, bleiben die hohen Werte erhalten. Das Schmierfett wird dünnflüssig, läuft aus, und das Lager beginnt zu fressen. Im Gegensatz zu Kunststofflagern bringt bei ihnen eine Nachschmierung eine Verbesserung des Laufverhaltens. Nach kurzer Zeit sind aber die hohen Werte für den Reibbeiwert und die Temperatur wieder erreicht.



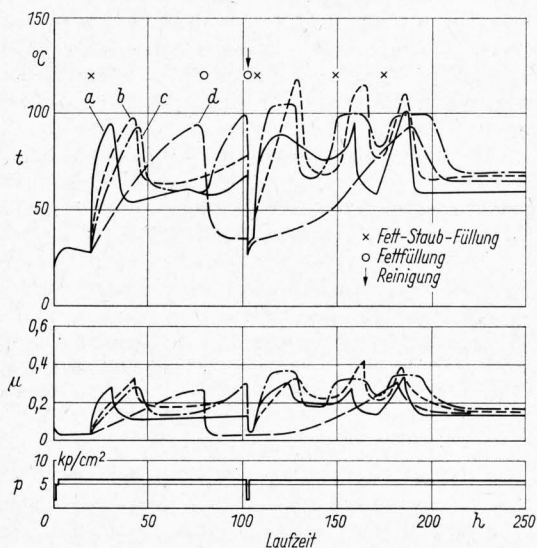
**Bild 6.** Vergleich von Gleitlagern mit auf der Welle aufgesinterter Ultramidsschicht und Graugußlagern (GG 22) in Staubatmosphäre.

Staub: Quarzmehl, Körnung 0 bis 14  $\mu\text{m}$   
Die übrigen Versuchsdaten wie in Bild 5

Abweichend von den Versuchen mit Staubkörnern  $> 20 \mu\text{m}$  verhalten sich die Lager bei sehr feinem Staub. Aus ihrem Laufverhalten, **Bild 6**, kann nicht unbedingt auf ein Einbetten des Staubes geschlossen werden. Bei dieser Körnung bringt ein Nachfetten auch bei Kunststofflagern eine Verringerung der Reib- und Temperaturwerte. Ein mehrmaliges Einbringen von Staub führt nicht zu den charakteristischen Reibbeiwert- und Temperatur-

spitzen, vielmehr steigen beide Werte mit der Laufzeit mehr oder minder kontinuierlich an, wie es auch bei staubfreiem Lauf an feststehenden Lagerbüchsen aus Kunststoff häufig beobachtet wurde. Die Gußlager verhalten sich ähnlich und liegen erst nach 200 h deutlich schlechter als die Kunststofflager.

Um den Einfluß der Staubkörnung auf das Laufverhalten besser zu erkennen, sind in **Bild 7** die Ergebnisse aller Versuche mit Staub unterschiedlicher Körnung zusammen aufgetragen. Die Kurven stellen Mittelwerte von jeweils drei Kunststofflagern dar. Den größten Aussagewert dürfte dabei die Auswirkung der ersten Staubeinbringung haben, da bei den folgenden auch Einflüsse durch gewisse Lagerschäden infolge der Staubeinwirkung wirksam werden. Es zeigt sich, daß sämtliche Temperaturspitzen etwa gleiche Werte aufweisen, die Spitzen aber bei der größeren Körnung früher erreicht werden.



**Bild 7.** Gleitlager mit auf der Welle aufgesinterter Ultramidsschicht in Staubatmosphäre bei verschiedener Körnung des Staubes.

Staub: a Quarzmehl, Körnung 100 bis 125  $\mu\text{m}$   
b Quarzmehl, Körnung 63 bis 80  $\mu\text{m}$   
c Quarzmehl, Körnung 14 bis 33  $\mu\text{m}$   
d Quarzmehl, Körnung  $< 14 \mu\text{m}$

Die übrigen Versuchsdaten wie in Bild 5  
Kurven entsprechen Mittelwerten von drei Kunststofflagern

Bei den nachfolgenden Staubeinbringungen zeigen nur die Versuche mit der groben Körnung eindeutige Spitzen, die durch Einbettung der Körner zusammenbrechen. Bei den Versuchen mit einer Körnung von 14 bis 33  $\mu\text{m}$  (Kurve c) treten nur noch Spitzenbereiche mit starken Streuungen auf, während bei der feinen Körnung  $< 14 \mu\text{m}$  (Kurve d) Reibbeiwert und Temperatur anscheinend ohne Beeinflussung durch die Staubeinbringung allmählich ansteigen. Nach Erreichen einer bestimmten Maximaltemperatur scheint aber auch hier ein Einbetten des Staubes stattzufinden.

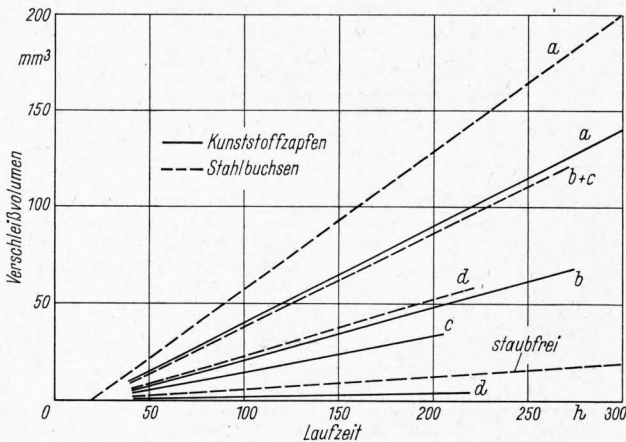
Noch interessanter als die Reibbeiwerte und Lagertemperaturen sind bei diesen Versuchen die Schäden, die durch Staubeinwirkung an den Lagern entstehen. Während der Einfluß der Staubkörnung auf das Laufverhalten der Lager relativ gering ist, — mit Ausnahme der sehr feinen Körnung —, beeinflußt die Körnung den Verschleiß in starkem Maße.

Bei den Untersuchungen ergab sich ein Anwachsen des Abriebs mit der Laufzeit und der Körnung. In **Bild 8** ist der Verschleiß der Kunststoffzapfen und der entsprechenden Stahlbüchsen in Abhängigkeit von der Laufzeit aufgetragen. Als Maß für den Verschleiß wurde das abgetragene Volumen gewählt, um die unterschiedliche Größe der Lauffläche und der spezifischen Gewichte der Zapfen bzw. der Büchsen zu berücksichtigen. Man erkennt einen linearen Verlauf. Der Verschleiß wächst mit steigender Körnung und liegt für gehärteten Stahl grundsätzlich niedriger als für Polyamid. Beachtlich ist jedoch, daß mit steigender Körnung der Abrieb zwar steigt, die Unterschiede zwischen Kunststoff und Stahl prozentual aber kleiner werden.

Der Anstieg des Abriebs mit der Körnung erfolgt nicht linear. Vielmehr zeigen die Kurven in **Bild 9**, in dem das Verschleiß-



volumen der Kunststoff- und der Metallager über der Körnung aufgetragen ist, einen ähnlichen Verlauf, wie er auch von Hockner [6] gefunden wurde, jedoch mit einem nur angedeutetem Maximum. Danach nimmt der Verschleiß bei Anwesenheit feinen Staubes mit der Körnung zunächst stärker zu, bleibt bis zu einer Körnung von 75  $\mu\text{m}$  annähernd konstant, um danach wieder steiler anzuwachsen.

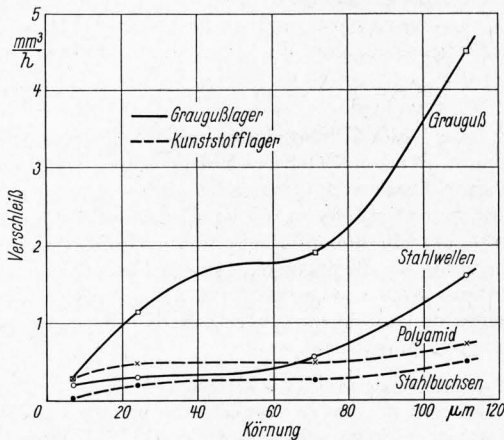


**Bild 8.** Verschleiß der Gleitlager mit Ultramidsschicht unter Staubeinfluß in Abhängigkeit von der Laufzeit bei verschiedener Körnung.

Versuchsdaten wie in Bild 7

- Staub: a Körnung 100 bis 125  $\mu\text{m}$
- b Körnung 63 bis 80  $\mu\text{m}$
- c Körnung 14 bis 33  $\mu\text{m}$
- d Körnung < 14  $\mu\text{m}$

Kurven entsprechen Mittelwerten von drei Kunststofflagern



**Bild 9.** Verschleiß der Gleitlager in Abhängigkeit von der Körnung des Staubes.

Wellendurchmesser:  $d = 35 \text{ mm}$   
Drehzahl:  $n = 140 \text{ U/min}$

Mittelwerte von drei Kunststoff- bzw. zwei Graugußlagern

Für Graugußlager ergeben sich ähnliche Verhältnisse wie für die Kunststofflager. Sie weisen jedoch stets einen höheren Abrieb auf, der mit der Körnung stärker zunimmt. Mit steigender Korngröße sind deshalb Kunststofflager Metallagern um so stärker überlegen.

## 6 Zusammenfassung

Die Versuchsergebnisse mit Kunststoffgleitlagern mit und ohne Staubeinfluß lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Kunststofflager können grundsätzlich im Trockenlauf eingesetzt werden, jedoch ist ihre Lebensdauer stark begrenzt, wenn nicht sehr kleine Belastungen auftreten. Mit steigender Gleitgeschwindigkeit nimmt im allgemeinen der zulässige  $pv$ -Wert ab.

Durch einmalige Schmierung können bei feststehenden Kunststoffbuchsen die Laufzeiten nicht wesentlich beeinflußt werden. Bei Schmierintervallen von ca. 100 h wird jedoch der Reibbeiwert stark vermindert.

Gute Erfolge sind mit Lagern erreichbar, bei denen eine dünne Kunststoffschicht relativ zur Belastung umläuft. Mit solchen

Lagern sind bei normalen, im Landmaschinenbau häufig auftretenden Belastungen Laufzeiten von 2000 h bei einmaliger Fettschmierung möglich.

Kunststofflager betten Staubkörner in sich ein, jedoch stellt der Einbettungsvorgang einen starken Verschleißvorgang dar, da die Festigkeit der Kunststoffe erst durch erhöhte Reibwärme erniedrigt werden muß. Der Verschleiß von Gleitlagern steigt mit der Korngröße an, jedoch bei Kunststofflagern geringer als bei Metallagern, wodurch sich eine wachsende Überlegenheit der Kunststofflager mit der Korngröße ergibt.

Aber auch bei Kunststofflagern liegt der Verschleiß unter Staubeinfluß deutlich über dem bei staubfreiem Einsatz. Deshalb sollte auch bei ihnen eine Abdichtung vorgesehen werden. Ein weiteres Mittel, den Verschleiß von Kunststofflagern bei Anwesenheit von Staub zu vermindern, stellt eine geschliffene Gegenauflfläche dar, die mit ihrer Härte möglichst über derjenigen von Quarz liegt, damit nach Einbettung der Staubkörner der Abrieb der Kunststoffschicht nicht in starkem Maße durch eine zu große Rauigkeit der Gegenauflfläche erfolgt.

## 7 Schrifttum

Bücher sind mit ● gekennzeichnet

- [1] ● Barger, E. L., u. a.: Tractors and their power units. The Ferguson Foundation Agric. Engng Series. John Wiley & Sons, Inc., New York; Chapman & Hall, Ltd., London. 1952.
- [2] Chepil, W. S.: Sedimentary characteristics of dust storms. *Americ. J. of Science* **255** (1957), S. 206/13.
- [3] von Grebe, H.: Wälz- und Gleitlager für verschiedene Anwendungsbereiche. *Antriebstechn.* **4** (1965) Nr. 9, S. 328/34.
- [4] Hachmann, H., und E. Strickle: Wartungsfreie Gleitlager mit dünnwandigen Polyamid-Gleitschichten. *VDI-Nachrichten* **17** (1963) Nr. 16, S. 5.
- [5] Hachmann, H., und E. Strickle: Polyamide als Zahnradwerkstoffe. *Konstruktion* **18** (1966) H. 3, S. 81/94.
- [6] Hockner, G.: Staubschutz von Lagern. *Grundl. Landtechn.* Heft 3 (1952), S. 31/37.
- [7] von Ow, R.: Prüfstandversuche von Kunststoffgleitlagern. *Grundl. Landtechn.* Heft 19 (1964), S. 24/27.
- [8] von Ow, R.: Versuche mit Kunststoffgleitlagern. *Landtechn. Forschung.* **15** (1965) H. 1, S. 21/25.
- [9] ● Rabinowicz, E.: Friction and wear of materials. New York: John Wiley and Sons, Inc. 1965.
- [10] Scheffter, H.: Kunstpreßstofflager. In: *RKTL-Schriften* Heft 91 (5. Konstrukteur-Kursus). Berlin: Beuth-Vertrieb 1939. S. 55/59.
- [11] Summers, C. E.: The physical characteristics of road and of field dust. *J. Soc. Autom. Engr.* Febr. 1925, S. 243/47.
- [12] ● Vogelpohl, G.: Betriebssichere Gleitlager. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verl. 1958.
- [13] Watson, C. E., u. a.: How piston rings wear out. *SAE-Journal*, Juni 1955, S. 39/40.

Weitere Hinweise der Schriftleitung auf Schrifttum über Kunststoffgleitlager:

Belyj, V. A., und B. I. Kupčinov: Konstruktion von Gleitlagern aus polymeren Kunststoffen. *Traktory i sel'chozmasiny* **37** (1967) Nr. 9, S. 16/17. 4 B., 2 Q., russ.

Carson, R. W.: A spezial review of all self-lubricated bearings. *Product. Engng* **35** (1964) Nr. 3, S. 79, 81/90.

Franßen, H.: Metall-Kunststoff-Verbundlager. *VDI-Z.* **110** (1968) Nr. 15, S. 632/34, 636. 7 B.

Krasničenko, L. V., A. F. Timofeev und L. A. Kolzar': Gleitlager aus dem Kunststoff Volonit. *Traktory i sel'chozmasiny* **38** (1968) Nr. 4, S. 21/22. 3 B., 2 Q., russ.

Pratt, G. C.: Kunststoffe als Lagermaterialien unter besonderer Berücksichtigung von PTFE. *Transactions & J.* **32** (1964) Nr. 100, S. 255/60.

Materialien für Lager aus plastischen Werkstoffen. *Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge* **9** (1965) Nr. 1, S. 29.

Gleitwerkstoffe mit Selbstschmiereigenschaften. *Kunststoffe* **55** (1965) Nr. 1, S. 32.

TFE/Ceramic — Composite outperforms brass. *Plastics World* **23** (1965) Nr. 9, S. 69.