

# Versuche mit Kunststoffgleitlagern

Institut für Landtechnik, TH Aachen

Die Verwendung von Kunststoffgleitlagern im Landmaschinenbau ist nicht neu. Über gute Erfahrungen mit Phenolharz-Schichtpreßstofflagern im Landmaschinen- und Schlepperbau berichtete MEBOLDT schon 1939 [1; 2]. Das Ziel war damals, den Verbrauch der sogenannten Sparmetalle Kupfer und Zinn einzuschränken. Die Lager bewährten sich beispielsweise im Mähbinder bei niedrigen Gleitgeschwindigkeiten und ziemlich niedrigen Drücken; sie wurden mit Fett oder Öl geschmiert. Besonders hervorzuheben sind die dämpfenden Eigenschaften der Preßstofflager bei Stoßbeanspruchung sowie ihre guten Notlaufeigenschaften. Wichtig ist, beim Einbau ein genügendes Lagerspiel vorzusehen und damit dem Quellen der Buchsen unter Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüssen Rechnung zu tragen [3...6]. Selbstschmierende Eigenschaften besitzen die Preßstofflager nicht. Nach dem Kriege sind sie im Landmaschinenbau fast nicht mehr verwendet worden, weil Buntmetalle wieder zu haben sind.

Ziel jeder Neuentwicklung von Gleitlagern für den Landmaschinenbau sollte ein möglichst wartungsfreier Betrieb der Lager sein. Diese Entwicklung könnte durch Wegfall von Schmierstellen für den Hersteller eine Verbilligung bringen, für den Benutzer eine Einsparung an Pflegezeiten. Die Eigenschaften bestimmter Kunststoffe versprechen einen Fortschritt in Richtung auf dieses Ziel. Zahlreiche neue Lagerwerkstoffe und einbaufertige Lagerbuchsen auf Kunsstoffbasis, die heute auf dem Markt sind, beweisen, daß große Anstrengungen gemacht werden, die hier gebotene Chance zu nutzen [7; 8]. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit oder Wertung sind in Tafel 1 einige Firmen aufgeführt, die Kunststofflager oder Lagerhalbzeuge anbieten.

## 1. Erfahrungen mit Kunststoffen im Landmaschinenbau

Der einfachste Weg, Kunststoffe für Gleitlager einzusetzen, besteht darin, die von den Metallagern gewohnten Abmessungen zu übernehmen und die Buchsen durch spanabhebende Bearbeitung, Pressen oder Spritzen herzustellen. Versuche mit derartigen Lagerbuchsen haben oft enttäuscht, da es wegen der schlechten Wärmeleitung der dicken Kunststoffwand nicht gelingt, die Reibungswärme schnell genug abzuführen. Es kommt zu örtlicher Überhitzung der Gleitfläche und zu einem Versagen der Lager. Außerdem ist nach einmaliger zu starker Erwärmung meist der feste Sitz der im Gehäuse eingepreßten Buchsen verloren, was auf den gegenüber Metallen höher liegenden Wärmeausdehnungskoeffizienten der Kunststoffe zurückzuführen ist. Bei der Erwärmung wird die Ausdehnung der Kunststoffbuchse durch das Metallgehäuse behindert. Es tritt eine plastische Verformung der äußeren Buchsenwand ein, nach dem Abkühlen sitzt die Buchse lose [9]. In krassen Fällen kommt es sogar zu einer Umklammerung der Welle durch die in ihrer Ausdehnung behinderte Buchse. In Tafel 2 sind Wärmeleit- und Wärmeabfuhrzahlen von Metallen und Kunststoffen einander gegenübergestellt.

Nur aus Kunststoff bestehende Buchsen und Gleitteile bewähren sich für den Landmaschinenbau an ungeschmierten oder während des Zusammenbaus geschmierten Lagerstellen nur dort, wo neben niedrigen Gleitgeschwindigkeiten auch kleine Drücke auftreten. (Gleitgeschwindigkeiten bis 0,1 m/s bei Flächendrücken bis 5 kp/cm<sup>2</sup>.) Es ist schwer, allgemeine Belastungswerte anzugeben, da die Möglichkeiten der Wärmeabfuhr je nach den Einbauverhältnissen verschieden sind. Als Beispiele mögen dienen: Stützrollen aus Polyamid an Sortierketten von Kartoffelsammelrotern, die kombinierten Fein- und Normalsäräder aus Polyamid, welche an Sämaschinen verwendet werden (Bild 1), Laufrollen aus Polyamid für fahrbare Behälter in Molkereien, Schlachthöfen und Ställen.

Nicht bewährt haben sich dagegen Polyamidstützrollen, welche stark dem Schmutz ausgesetzt bei Siebketten von Sammelrotern eingebaut waren. Größere Flächenpressungen sind für Kunststoffbuchsen dann zulässig, wenn keine umlaufende Bewegung oder nur unterbrochenes Gleiten stattfindet, wie beispielsweise bei Achs-

schenkellagerungen an Ackerschleppern, den Lagerungen von Drehpflügen, den Lagerstellen an Sammelbunkern von Hackfruchtentemaschinen, bei der Lagerung von Hackparallelogrammen und bei Gleitrollen in Förder- und Antriebsketten [14; 15]. Oft waren derartige Lagerstellen bisher schwer mit einer befriedigenden Schmiermöglichkeit zu versehen, sie neigten bei langen Stillstandszeiten zum Festrost. Ein Beispiel einer Lagerung mit guter Kühlmöglichkeit ist die Rechenaufhängung und Führung bei einer Heuwerbungsmaschine. Bei einem Typ dieser Maschine werden 33, bei einem anderen 57 Polyamidbuchsen verwendet und ebensoviele Schmiernippel eingespart. Die mittlere Gleitgeschwindigkeit bei diesen beim Einbau geschmierten Lagerstellen beträgt 0,08 m/s, die maximale 0,208 m/s. Die Vorzüge der Kunststoffe kommen vor allem bei Lagerungen mit niedrigen Gleitgeschwindigkeiten und mittleren bis hohen Drücken sowie bei schwingenden Bewegungen zur Geltung, also überall dort, wo man bisher Schwierigkeiten hatte, einen ausreichenden Ölfilm zu erzeugen und zu erhalten.

Tafel 1: Hersteller und Werkstoffe von Kunststofflagern

Firma	Lagerwerkstoff	Lieferform
Molykote KG	„Molynium 20“ — Duroplastischer Kunststoff mit Molykote	Halbzeug
Heinz Günther	„Kufalit“ — Duroplastischer Kunststoff mit Graphitfüllung	Halbzeug
Farbwerke Schroeder & Stadelmann AG	„Sustamid“ — Polyamid „Delrin“ — Azetalharz	einbaufertige Lagerbuchsen, Polyamid und Azetalharz-Halbzeuge
Polypenco GmbH	„Polypenco Nylon“	Lagerfolien, Halbzeuge
Gleitstoff Ges. Dipl.-Ing. Schüder & Co.	„Bekamol“ — Polyamid mit Molybdändisulfid	Halbzeug
Kunststoffwerk Philippine	„Gleitlager Weber“	einbaufertige Lager mit Dichtlippen
Carl Huth & Söhne	„Teflon Gewebe“, „Teflon“	Gewebe zum Auskleiden von Lagern, Halbzeug
Fiberglide GmbH	„Fiberglide“ — Selbstschmierende Lager aus Teflonfaser mit Preßstoffrücken	einbaufertige Buchsen und Bundbuchsen
Kolbenschmidt, Karl Schmidt GmbH	„DU-Trockenlager“ — Mehrschichtenmaterial, Teflon Gleitfläche mit Stahlrücken „DQ-Trockenlagermaterial“ — gefülltes Polytetrafluoräthylen (PTFE)	einbaufertige Buchsen, Halbzeuge
Fürstlich Hohenzollern'sche Hüttenverwaltung	„ZSV Lagerungen“ — Kunstharzgleitschichten teilweise mit Teflon	Aufbringen von Gleitschichten in Buchsen und auf Wellen im Kundenauftrag
SKF-Kugellagerfabriken GmbH	SKF-Hochleistungs-Gelenklager	einbaufertige Gelenklager mit DU-Gleitschalen

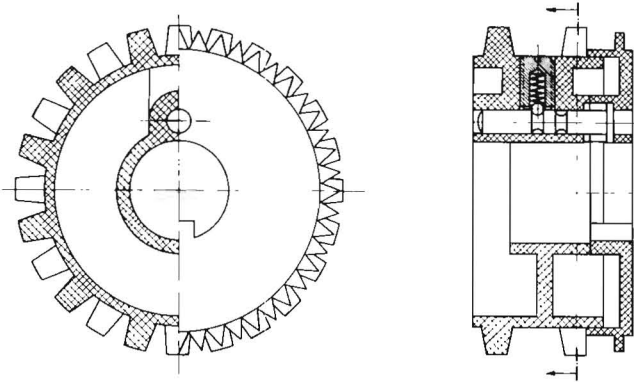


Bild 1: Nockenrad

Bei Feinsaat steht die linke Hälfte des Rades, nur das schmale Rad mit der feinen Zahnung läuft

Wo liegen nun die Grenzen für Gleitgeschwindigkeiten und Drücke? Die größten Erfolge wurden mit dem Kunststoff Polytetrafluoräthylen (PTFE) erzielt. Dieser Kunststoff zeigt eine sehr geringe Adhäsion, er wird deshalb zur Auskleidung von Mischern und Backformen angewandt. Seine Verwendung als Streichblechbelag beim Pflügen stark klebriger Böden machte viel von sich reden [16]. Durch die kleine Adhäsion ist die Neigung zum Verschweißen an Kontaktstellen, das Fressen der Lager, besonders gering. Leider ist es bisher nicht gelungen, die sehr niedrigen Reibwerte, die bei hohen Drücken und niedrigen Gleitgeschwindigkeiten beispielsweise an den Auflagern von Brücken gemessen wurden, auch für die bei Lagern für umlaufende Wellen vorliegenden Verhältnisse zu verwirklichen. Allgemein ist darauf zu achten, daß bei Flächenreibung ermittelte Reibwerte nicht ohne weiteres als Reibungszahlen für aus der gleichen Werkstoffpaarung hergestellte Gleitlagerungen übernommen werden dürfen. Bei einer Flächenpressung von  $500 \text{ kp/cm}^2$  und einer Gleitgeschwindigkeit von  $0,00011 \text{ m/s}$  wurden für Teflon (PTFE) gegen Hartchrom Reibwerte von 0,01 und darunter gemessen [17]. Bei Wellen aus gehärtetem Stahl mit  $1/2$  (12,27 mm) Durchmesser, einer Drehzahl von 156 U/min entsprechend einer Gleitgeschwindigkeit von 0,1 m/s, die bei einem Lagerdruck von  $8,5 \text{ kp/cm}^2$  in Teflonbuchsen verschiedener Zusammensetzung liefen, wurden dagegen Reibungszahlen zwischen 0,15 und 0,25 festgestellt [18].

Tafel 2: Wärmeleit- und Wärmedehnzahlen von Metallen und Kunststoffen

Werkstoff	Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	Wärmeleitzahl [kcal/mh °C]	Wärmedehnzahl [1/°C]
Stahl 0,2% C	7,85	43	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Grauguß	7,1—7,3	36—54	$0,9 \cdot 10^{-5}$
Aluminium-Legierungen, Dural	2,8	126	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Bronze	8,8	47	$1,46 \cdot 10^{-5}$
Polyamid	1,07—1,14	0,18—0,25	$9 \cdot 10^{-5}$
Azetalharz	1,425	0,19—0,37	$4,5 \cdot 10^{-5}$
Polytetrafluoräthylen (PTFE)	2,1—2,3	0,2	$8 \cdot 15 \cdot 10^{-5}$
Vernetztes Polyurethan „Vulkollan“	1,26	0,2—0,25	$14,5 \cdot 20 \cdot 10^{-5}$
Phenolharz Preßmassen	1,3—1,6	0,27—0,65	$1,5 \cdot 5 \cdot 10^{-5}$
Molynium 20 Lagermaterial	1,95	0,21	$3,8 \cdot 10^{-5}$
DU-Lagermaterial	—	36	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Quellen: [10 . . . 13]

Da reines PTFE hohen Drücken nicht standhält, sondern zu fließen beginnt, verbesserte man seine Druck- und Verschleißfestigkeit durch Zusatz von Graphit, Molybdändisulfid, Glasfasern oder Glimmer. Auch metallische Zusätze werden verwendet, um die Wärmeleitung zu verbessern. Der Reibwert wurde durch diese Maßnahmen nicht wesentlich verändert. Eine andere Möglichkeit, die Druckfestigkeit von PTFE zu erhöhen, ist, das Material zu Fasern zu recken. Aus diesen Fasern hergestellte Gewebe werden als Laufflächen in Lagerbuchsen aus Preßstoff oder Metall eingeklebt. Da PTFE ziemlich teuer und schwierig zu verarbeiten ist, werden auch andere Kunststoffe für Lagerzwecke verwendet (s. Tafel 1), obwohl deren Reibwerte bei Trockenlauf höher liegen als die von PTFE.

Die im Lager erzeugte Wärme ist proportional der Reibungszahl, der Lagerbelastung und der Gleitgeschwindigkeit. Da die bisher erreichten Reibungszahlen ungeschmierter Kunststofflager über denen liegen, die bei Öl- oder Fettschmierung in Gleitlagern aus Metall auftreten, muß bei ungeschmierten Lagern der Wärmeabfuhr und der Temperaturfestigkeit des Lagermaterials besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden [19]. Die Wärmeleitfähigkeit aller für Lagerzwecke verwendeten Kunststoffe ist etwa gleich. PTFE zeichnet sich hier jedoch durch die hohen Temperaturen aus, die es erträgt. Während für Polyamide Temperaturen über  $60^\circ \text{C}$  schon gefährlich werden, kann PTFE bis zu  $200^\circ \text{C}$  erwärmt werden. Die Wärmeabfuhr läßt sich durch Verwendung besonders dünner Kunststoffschichten, die auf einem Trägermaterial aus Stahl aufgebracht werden, erheblich verbessern [20 . . . 22].

Der Trockenlauf einer Welle in einem Lager ist immer mit Abrieb des Lagermaterials verbunden. Es besteht die Vorstellung, daß sich das abgeriebene Material teilweise auf der Welle festsetzt und dann ein Gleiten zwischen zwei Schichten des Lagermaterials stattfindet. Trotzdem geht der Abrieb weiter, die abgeriebenen Teilchen bilden dabei eine Art Schmierschicht. In dem Bestreben, die Wärmeabfuhr zu verbessern, darf daher die Kunststoffschicht eines ungeschmierten Lagers nicht zu dünn ausgelegt werden, weil sonst die Lebensdauer des Lagers sinkt. Die Zusammenhänge zwischen Lagertemperatur und Verschleiß des Lagers sind noch nicht genau untersucht, doch ist anzunehmen, daß der Verschleiß mit steigender Temperatur zunimmt. Die Oberflächenbeschaffenheit der Welle hat ebenfalls einen Einfluß auf das Laufverhalten der Lager. Für Lager auf PTFE-Basis werden gehärtete Wellen ( $H_{RC} \approx 50$ ) mit einer Rauigkeit  $R = 4 \mu\text{m}$  empfohlen. Für den praktischen Einsatz ist von Interesse, wie lange ein bestimmtes Lager bei gegebenen Belastungswerten laufen kann ohne zu fressen und ohne daß das Lagerspiel für den jeweiligen Fall unzulässig hohe Werte annimmt. Außerdem ist die Größe der Reibungszahl wichtig, um die Lagerverluste ermitteln zu können. Die für bestimmte gewünschte Laufzeiten von den Lagerherstellern angegebenen PV-Werte, die ein Produkt aus Lagerbelastung und Zapfenumfanggeschwindigkeit darstellen, sind kein hinreichender Kennwert, da sich die Reibungszahl mit der Belastung und mit der Gleitgeschwindigkeit ändert und sie daher keine Aussage über die zu erwartende Lagertemperatur gestatten. Von Bedeutung ist ferner das Verhalten der Lager gegenüber eindringendem Schmutz, denn dieses entscheidet über den für die Abdichtung notwendigen Aufwand. In Landmaschinen wird im Gegensatz zu Textil- und Lebensmittelverarbeitungsmaschinen selten ein ganz ungeschmiertes Lager gefordert werden, da die Gefahr der Verschmutzung der verarbeiteten Güter durch austretende Schmiermittel bedeutungslos ist. In den meisten Fällen wird es sich um beim Einbau auf Lebenszeit geschmierte Lager oder um Lager handeln, die möglichst nur einmal in der Saison ein Nachschmieren erfordern. Außerdem können in Pumpen Lagerungen auftreten, für die als Schmiermittel nur die Förderflüssigkeit, Wasser oder Jauche, infrage kommt.

## 2. Prüfstandversuche

Die Lagerlaufversuche, über die hier berichtet werden soll, erstrecken sich nur auf ungeschmierte Lager. Die Versuche sind Teil eines größeren Versuchsprogramms. Es wurde dabei von der Voraussetzung ausgegangen, daß eine Schmierung mit Öl oder Fett das Laufverhalten der untersuchten Lager auf jeden Fall verbessert. Ferner wurde angenommen, daß diejenigen Lager, die sich als am besten für den Trockenlauf geeignet herausstellen, auch bei einmaliger oder seltener Schmierung gute Leistungen

zeigen würden. Dadurch, daß die Lager von vornherein ohne Schmierung liefen, konnte die Laufdauer der Versuche erheblich verkürzt werden. (Einmal eingölte Buchsen aus Bleibronze liefen beispielsweise bei einer Lagerlast von 10 kp/cm<sup>2</sup> und einer Gleitgeschwindigkeit von 0,5 m/s 200 h, ehe der Schmierfilm verbraucht war und trockene Reibung eintrat) [21].

### 3. Prüfstand und Meßverfahren

Der verwendete Lagerprüfstand wurde in Anlehnung an eine Konstruktion der Materialprüfungsanstalt (MPA) Darmstadt [23] gebaut; sein Aufbau ist aus den Bildern 2 und 3 zu ersehen.

Er eignet sich für zylindrische Gleitlager. Eine umlaufende Welle läuft bei ruhender Last gegen ein stehendes Lager. Dies stellt für

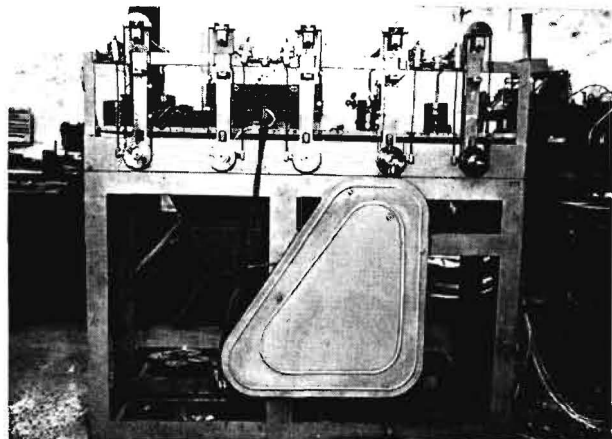


Bild 2: Ansicht des Prüfstandes mit fünf Wellen

die Lager den ungünstigen Belastungsfall dar, da sie nur in einer Hälfte abgenutzt werden. Durch Anordnung von fünf Wellen nebeneinander ist es möglich, fünf Lager gleichzeitig zu untersuchen. Die Prüflager sitzen in geteilten Lagerträgern und laufen auf Zapfen, die mit einem Korus in der eigentlichen Welle befestigt sind. Frißt ein Lager, so ist der Zapfen leicht auszuwechseln. Ebenso ist es möglich, sich an Lagerbuchsen mit verschiedenem Innendurchmesser durch Verwendung von Zapfen entsprechender Dicke anzupassen. Die Aufhängung der Lagerträger ist reibungsfrei durch Schneidenlagerung. Die Belastung erfolgt über einen Hebel durch Gewichte. Über ein Schaltgetriebe und Änderung der Riemenübersetzung können zehn verschiedene Drehzahlen eingestellt werden. Das Reibmoment wird durch eine mit Dehnmeßstreifen beklebte Biegefeder gemessen.

Die Lagertemperatur wird durch Kupfer-Konstantan-Thermoelemente in einer axialen Bohrung in der Mitte der Belastungszone der Buchse, möglichst nahe an der Lauffläche gemessen. Der Abstand der Temperaturbohrung von der Lauffläche hängt von der Beschaffenheit der jeweiligen Lagerbuchse ab. Besteht diese aus Kunststoff und beträgt der Abstand der Meßbohrung 1 mm von der Lauffläche, so kann die Temperatur an der Lauffläche den Meßwert um 10° und mehr überschreiten.

### 4. Versuchsdurchführung und Auswertung

Soll ein neuer Lagerwerkstoff untersucht werden, so wird bei konstanter Drehzahl, nach reichlichem Einlauf bei geringer Last, die Lagerbelastung stufenweise so lange erhöht, bis sich die Beharrungstemperatur des Lagers der vom Hersteller angegebenen Höchstgrenze nähert. Die dann eingestellte Belastung wird beibehalten, bis das Lager versagt oder der Versuch abgebrochen wird. Die aus den Versuchsprotokollen berechneten Werte für die Reibungszahl, die Temperatur und die Lagerbelastung werden für jedes Lager einzeln über der Laufzeit aufgetragen, die Werte von mehreren (meist 5) Lagern dann zu Streufeldbildern zusammengefaßt.

#### 4.1. Fiberglide-Lager

Geliefert wurden einbaufertige zylindrische Buchsen aus Kunstharzpreßstoff mit einer Gleitschicht aus Teflone. Die zur

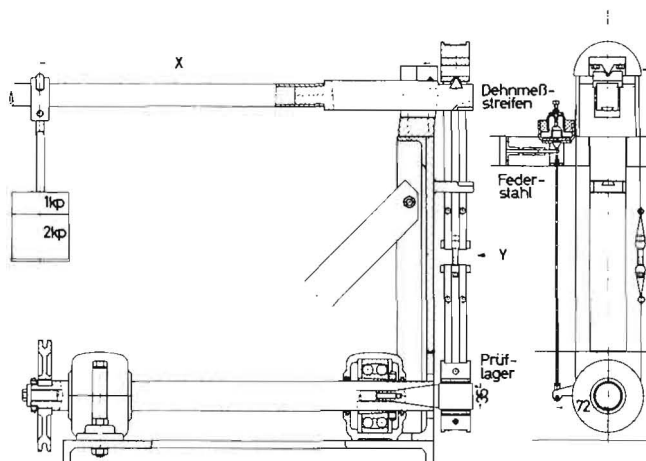


Bild 3: Querschnitt durch eine Prüfwellen

Aufnahme der Buchsen bestimmte Bohrung war mit dem Toleranzmaß G 7 auszuführen, die Wellen mit h 8. Es wurden geschliffene ungehärtete Wellen verwendet. Die Buchsen hatten folgende Abmessungen: Innendurchmesser 40 mm, Außendurchmesser 48 mm, Lagerlänge 40 mm. Es wurden drei Versuchsläufe mit jeweils 5 Lagern durchgeführt. Der erste Versuch lief mit einer Drehzahl von 56 U/min entsprechend einer Gleitgeschwindigkeit von 0,117 m/s und einer Belastung von 10 kp/cm<sup>2</sup>. Nach 260 h wurde der Versuch abgebrochen. Die gemessenen Reibungszahlen schwankten sehr stark im Bereich zwischen 0,12 und 0,40, das Mittel der Reibungszahlen stieg von anfänglich 0,25 bis auf 0,30 im Verlauf des Versuches. Die nahe der Lauffläche gemessene Temperatur betrug 80–100° C, die wirkliche Temperatur lag bestimmt noch etwas höher (Bild 4).

Der zweite Versuch lief im wesentlichen unter den gleichen Bedingungen wie der soeben beschriebene. Die Laufzeit betrug 340 h. Die Belastung wurde auf 18 kp/cm<sup>2</sup> gesteigert, mußte jedoch im Verlauf des Versuches auf 15 kp/cm<sup>2</sup> zurückgenommen werden. Entsprechend der höheren Belastung stieg die gemessene Temperatur auf Werte zwischen 90 und 130° C. Die Reibungszahlen schwankten stark, als Mittelwert kann 0,25 angegeben werden. Das Lagerspiel in Lastrichtung nahm durch Abrieb von 2 auf 5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> des Nenndurchmessers zu, quer zur Lastrichtung verringerte sich das Spiel durch Schrumpfung. Bild 5 zeigt Flächenpressung, Reibungszahlen- und Temperaturstrefenfeld über der Laufzeit aufgetragen.

Zur Durchführung eines dritten Versuches wurden die vorher verwendeten Buchsen um 180° gedreht. Der Versuch lief 512 h mit

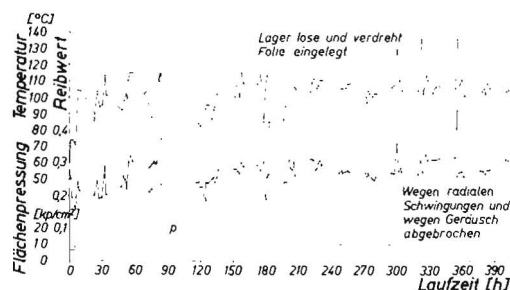


Bild 4: Beispiel einer Versuchsauswertung durch Auflagen von spezifischer Lagerbelastung. Reibungszahlen und Lagertemperatur eines Lagers über der Laufzeit

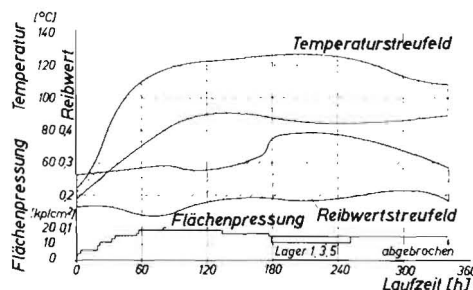


Bild 5: Streufeldbild für den zweiten Versuchslauf mit Fiberglide-Lagern

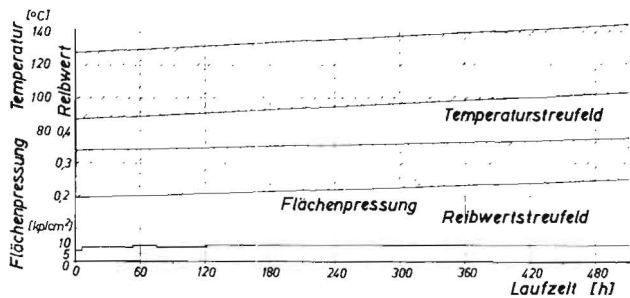


Bild 6: Streufeldbild für den dritten Versuchslauf mit Fiberglide-Lagern

einer Drehzahl von 94 U/min, entsprechend einer Gleitgeschwindigkeit von 0,197 m/s, die spezifische Belastung wurde auf 10 kp/cm<sup>2</sup> eingestellt. Es wurden Temperaturen zwischen 90 und 140° C gemessen. Durch Abrieb der Buchsen vergrößerte sich das Lagerpiel in Lastrichtung von 5 auf 10<sup>0/100</sup> des Nenndurchmessers. Wie aus den in Bild 6 dargestellten Streufeldern zu ersehen ist, stiegen die Reibungszahlen im Laufe des Versuches langsam an, als Mittelwerte können 0,275 bis 0,31 angegeben werden. Der Abrieb an den Wellen war kleiner als 10 µm, doch entstanden an einigen Wellen leichte Riefen.

Bei den Versuchen mit Fiberglide-Lagern traten zeitweise laute Quietschgeräusche auf. Die Reibungszahlen lagen für den untersuchten Gleitgeschwindigkeits- (0,1—0,2 m/s) und Belastungsbereich (10—18 kp/cm<sup>2</sup>) bei ungehärteten und geschliffenen Wellen zwischen 0,2 und 0,3. Um ein Rutschen der Buchsen in der Einpreßbohrung zu verhindern, sollten diese verstiftet werden. Sehr positiv ist zu bewerten, daß bei allen Versuchen kein Fressen der Lager festzustellen war. Hier ist der Vorteil der Verwendung von Hartgewebepreßstoff als Stützmaterial für die Gleitschicht aus PTFE-Gewebe zu erblicken. Für die Wärmeabfuhr würde sich eine metallische Stützbuchse günstiger auswirken. Durch Einhaltung der vom Hersteller der Lager angegebenen Toleranzen ergeben sich Laufspiele, die bei Dauerbetrieb und Temperaturerhöhungen von 100° C und mehr sehr knapp werden.

#### 4.2. DU-Lager

Geliefert wurden einbaufertige geschlitzte zylindrische Stahlbuchsen, deren Gleitschicht aus poröser Zinnbronze und einer

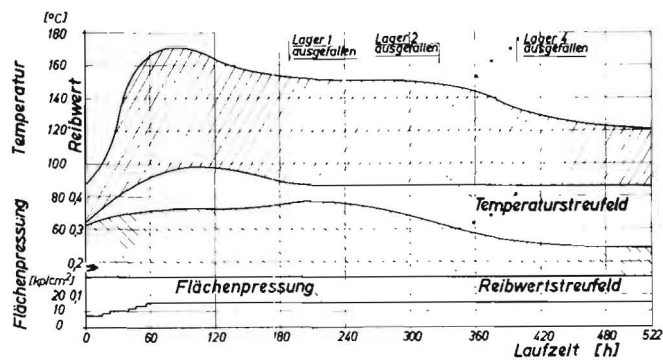


Bild 7: Streufeldbild für den ersten Versuchslauf mit DU-Lagern Wellen ungehärtet

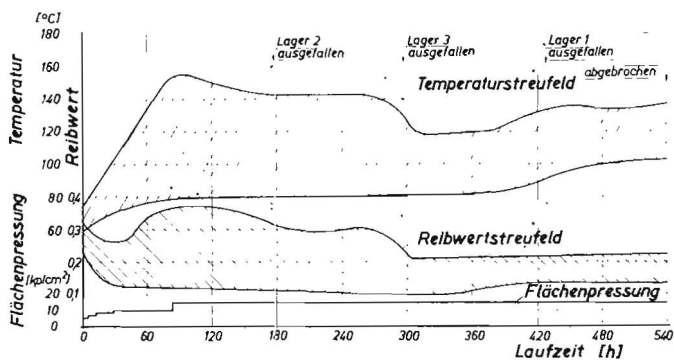


Bild 8: Streufeldbild für den zweiten Versuchslauf mit DU-Lagern Wellen gehärtet

Blei-PTFE-Mischung aufgebaut ist [20]. Für das „Standardlaufspiel“ ist die Gehäusebohrung zur Aufnahme der Buchsen mit Toleranzmaß H 7, der Zapfen mit h 8 auszuführen, das heißt, in unserem Fall 39 Ø H 7 und 35 Ø h 8. Für die Versuche wurden Buchsen mit 35 mm Innendurchmesser, 39 mm Außendurchmesser und 30 mm Länge verwendet. Die Drehzahl war 140 U/min entsprechend einer Gleitgeschwindigkeit von 0,256 m/s.

Der erste Versuch wurde mit ungehärteten geschliffenen Wellen durchgeführt. Die Stoßstelle der geschlitzten Buchsen lag bei den Lagern 1, 2, 3 und 5 in der lastfreien Zone, bei Lager 4 in der Lastzone. Aus dem Streufeldbild (Bild 7) dieses Versuches ist zu entnehmen, daß bei einer Belastung der Lager mit 14,5 kp/cm<sup>2</sup> das Lager 1 nach 209 h Laufzeit ausfällt, das Lager 2 nach 328 h, das Lager 4 nach 400 h. Beim Abbruch des Versuches nach 522 h sind noch zwei Lager betriebsfähig. Die mittleren Reibungszahlen liegen bei 0,2, jedoch kommen vor allem bei den vorzeitig ausgefallenen Lagern Spitzenwerte bis 0,4 vor.

Ein zweiter Versuch wurde mit gehärteten (H<sub>Rc</sub> = 46) und geschliffenen Wellen durchgeführt. Das Streufeldbild (Bild 8) zeigt, daß bereits nach 179 h ein Lager ausfällt, nach 297 h ist ein zweites Lager verbraucht, nach 429 h das dritte. Wie beim ersten Versuch erreichen nur zwei Lager 522 h Laufzeit. Die Fortführung des Versuches zeigte, daß erst nach 793 h das vierte Lager verbraucht war, das beste Lager erreichte 853 h Laufzeit. Die Reibungszahlen lagen für die drei „guten“ Lager merklich unter den mit ungehärteten Wellen erreichten Werten, meist unterhalb 0,2.

Bemerkenswert ist das unterschiedliche Verhalten der DU-Trockenlager; unter genau den gleichen Betriebsbedingungen erreichte ein „gutes“ Lager die 4,7 fache Laufzeit eines „schlechten“. Von allen auf dem Prüfstand bisher untersuchten Lagern zeigten die DU-Lager die niedrigsten Reibungszahlen. Auch bei diesen Lagern ist der Trockenlauf zeitweilig mit lauten Quietschgeräuschen verbunden.

#### 4.3. ZSV-Lager

Geliefert wurden einbaufertige Stahlbuchsen mit einer Gleitschicht aus Epoxydharz, in welches PTFE eingelagert war. Die Dicke der Gleitschicht betrug etwa 0,2 mm. Die Buchsen wurden nicht serienmäßig hergestellt, auf Wunsch können beliebig gefornnte Gleiteile beschichtet werden [21]. Die verwendeten Buchsen hatten 35 mm Innendurchmesser, 40 mm Außendurchmesser und eine Länge von 30 mm. Bei den Versuchen liefen die Wellen mit einer Drehzahl von 140 U/min entsprechend 0,256 m/s. Sie waren geschliffen, jedoch ungehärtet. Beim ersten Versuch wurde eine durchschnittliche Belastung von 6,5 kp/cm<sup>2</sup> aufgebracht. Das Lagerpiel betrug 1—2<sup>0/100</sup> des Nenndurchmessers. Nach 300 h Laufzeit wurde dieser Versuch abgebrochen. Mit den um 180° gedrehten Lagerbuchsen wurde ein zweiter Versuch mit stufenweise bis auf 15 kp/cm<sup>2</sup> gesteigerter Belastung durchgeführt.

Nach dem ersten Lauf war der durchschnittliche Verschleiß an den Wellen 5 µm, in den Buchsen 15 µm; Wellen und Buchsen waren in sehr gutem Zustand. Der zweite Versuch lief ebenfalls mit einer Drehzahl von 140 U/min. Das Streufeldbild (Bild 9) zeigt, daß nach 192,5 h die ersten beiden Lager ausfielen, nach 265,5 h ein weiteres, nach 292 h versagte das vierte Lager, der Versuch wurde daraufhin beendet.

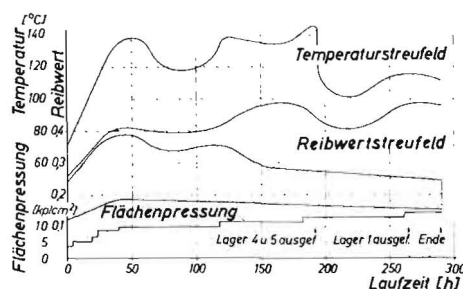
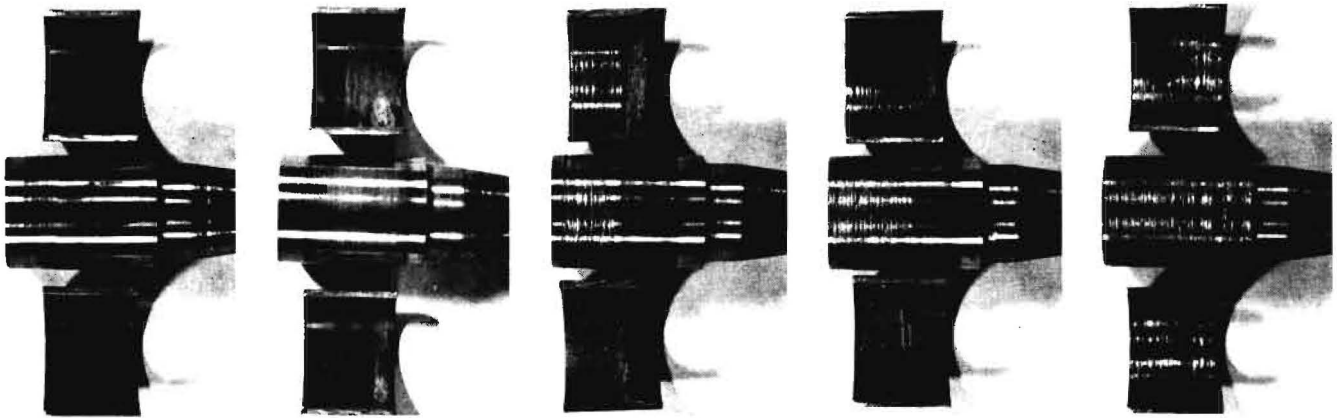


Bild 9: Streufeldbild für den zweiten Versuchslauf mit ZSV-Lagern





Bilder 10—14: Zustand der fünf ZSV-Lager mit den zugehörigen Wellen nach Abbruch des Versuches  
Betrachtet man die Lager von links nach rechts, so kann man sich den Freß-Vorgang eines Lagers anschaulich machen

Sehr deutlich geht aus dem Bild das ungleiche Verhalten der Prüflager hervor. Nachdem zwei „schlechte“ Lager ausgefallen sind, schrumpft das Temperaturstrefefeld erheblich zusammen. Bemerkenswert ist auch der bis zum Schluß des Versuches leicht abfallende Reibwert. Die Bilder 10 bis 14 zeigen den Zustand von Wellen und Lagerbuchsen nach dem zweiten Versuchslauf (die Buchsen wurden zum Fotografieren aufgesägt). Oberhalb der Welle liegt jeweils die Lauffläche. (Bei dem dunklen Fleck in der Lauffläche auf Bild 13 handelt es sich um nachträglich entstandenen Rost.) Da nur 5 ZSV-Buchsen zur Verfügung standen, sind die Ergebnisse nicht gesichert; sie gestatten jedoch die Aussage, daß für spezifische Belastungen bis 10 kp/cm<sup>2</sup> und Gleitgeschwindigkeiten bis 0,25 m/s ein Trockenlauf von 200 h erreicht wird, bei 5 kp/cm<sup>2</sup> werden sicher 300 h erreicht. Die Reibungszahlen liegen dabei vorwiegend bei 0,25. Es treten jedoch Schwankungen zwischen 0,18 und 0,4 auf. Zu erwähnen ist noch, daß bei einigen Lagern der Trockenlauf zeitweise mit starken Quietschgeräuschen verbunden war.

Eine übersichtliche Darstellung der hier beschriebenen Versuche gibt Bild 15. Sehr unbefriedigend ist die starke Streuung der Lebensdauerwerte der ZSV- und der DU-Lager, für die keine Erklärung gefunden wurde (die Darstellung enthält auch noch einen früher durchgeführten Versuch mit 2 DU-Lagern). Da das Versagen dieser Lager meistens mit einer Beschädigung der Welle verbunden ist, sollte man im praktischen Einsatz immer nur mit der unteren Grenze der erreichbaren Laufzeit rechnen. Dies hat zur Folge, daß die Leistungsfähigkeit vieler Lager nur sehr schlecht ausgenutzt ist. Gleichzeitig wird der Vorteil der Fiberglide-Lager deutlich; bei diesen kann ein Fressen praktisch nicht auftreten. Diese Sicherheit wird den Nachteil etwas höherer Reibungszahlen und schlechter Wärmeabführung oft ausgleichen. Bei einem Vergleich der Ergebnisse ist zu beachten, daß die ZSV- und DU-Lager mit höherer Gleitgeschwindigkeit liefern als die Fiberglide-Lager, andererseits wurden bei den letzteren Buchsen 40  $\varnothing$   $\times$  40 mm verwendet, da die Abmessung 35  $\varnothing$   $\times$  30 mm nicht zu erhalten war. Bei gleicher spezifischer Lagerbelastung war die Gesamtlast bei den Fiberglide-Lagern im Verhältnis  $\frac{160}{105} = 1,52$  mal größer.

### 5. Zusammenfassung

Von den Kunststofflagern für Trockenlauf zeigen die mit Gleitschichten auf Polytetrafluoräthylens-Basis (PTFE-Basis) günstige Reibungszahlen. Lohnende Anwendungsgebiete sind vor allem dort zu finden, wo kleine Gleitgeschwindigkeiten bei mittleren bis hohen Drücken vorliegen. Da PTFE-Lager gegenüber Lagern aus den Thermoplasten Azetalharz oder Polyamid durch Verarbeitung und Werkstoff teuer

sind, wird man von Fall zu Fall entscheiden müssen, ob man nicht auf diese billigeren Stoffe ausweichen kann.

### Schrifttum

- [1] MEBOLDT, W.: Erfahrungen mit Preßstofflagern bei Landmaschinen. Kunststoffe 29 (1939), S. 221—223
- [2] MEBOLDT, W.: Kunststoffe im Landmaschinenbau. Kunststoffe 31 (1941) S. 64—65
- [3] SCHEFFTER, H.: Kunstpreßstofflager. RKTU-Schriften, Heft 91 (5. Konstrukteur-Kursus). Berlin 1939
- [4] DIN 7703 Preßstofflager. Ausgabe 10.43
- [5] DIN 1850 Buchsen für Gleitlager, Blatt 1. Ausgabe 5.59
- [6] VDI-Richtlinie 2002, Gestaltung und Verwendung von Preßstoff-Gleitlagern. Düsseldorf o. J.
- [7] Kunststoffe als Lagerwerkstoff. Kunststoffe 50 (1960), S. 617
- [8] FABIAN, R. J.: Plastics Bearing Materials. Materials in Design Engineering 60 (1964), H. 3, S. 90—95
- [9] MEYSENBUG, C. M., FRHR. v.: Einfluß der Temperatur auf das Verhalten eingebauter Preßstofflager. Kunststoffe 37 (1947), S. 69—74
- [10] Doppel-Handbuch, Band 1, 11. Aufl. Springer-Verlag, Berlin 1955
- [11] Kunststoff-Taschenbuch, 15. Ausg. Hansa-Verlag, München 1961
- [12] DU-Trockenlager. Prospekt der Fa. Kolbenschmidt, Karl Schmidt GmbH, Neckarsulm
- [13] Molykote 20. Prospekt der Fa. Molykote KG, München 19
- [14] Förderketten mit Kunststoffgleitlagern. VDI-Nachrichten 14 (1960), H. 9 S. 27, 2. 1960
- [15] Hochleistungsfähige Rollenketten mit Kunststoffgleitlagern. Die Antriebstechnik 1 (1962), S. 121—122
- [16] PILLSBURY jr., R. D.: Applications of Fluorocarbon Resins in Farm Equipment. Agricultural Engineering 41 (1960), S. 802—803
- [17] WELLINGER, K., H. UETZ und V. HAKENJOS: Gleitreibungsversuche mit Teflon. VDI-Zeitschrift 104 (1962), S. 1434—1440
- [18] PTFE Bearing Materials. Modern Plastics 1 (1959), S. 123—128
- [19] OW, R. v.: Prüfstandsversuche mit Kunststoffgleitlagern. In: Grundlagen der Landtechnik, Heft 19. Düsseldorf 1963, S. 24—27
- [20] KLUCK, H. G.: DU — ein neuartiger mehrschichtiger Trockenlager-Werkstoff. ATZ 62 (1960), S. 154—157
- [21] GOSSMANN, B., D. KELLER und C. M. v. MEYSENBUG: Trockenlauf von Gleitlagern aus Metallen, Kunststoffe und Kunststoffen. VDI-Zeitschrift 105 (1963), S. 1342—1350
- [22] HACHMANN, H., und E. STRICKLE: Wartungsfreie Gleitlager mit dünnwandigen Polyamidgleitschichten. VDI-Nachrichten 17, Nr. 16 (1963), S. 5
- [23] MEYSENBUG, C. M., FRHR. v.: Zur Beurteilung der Laufeigenschaften von Lagerwerkstoffen. Metall 7 (1953), S. 755—758

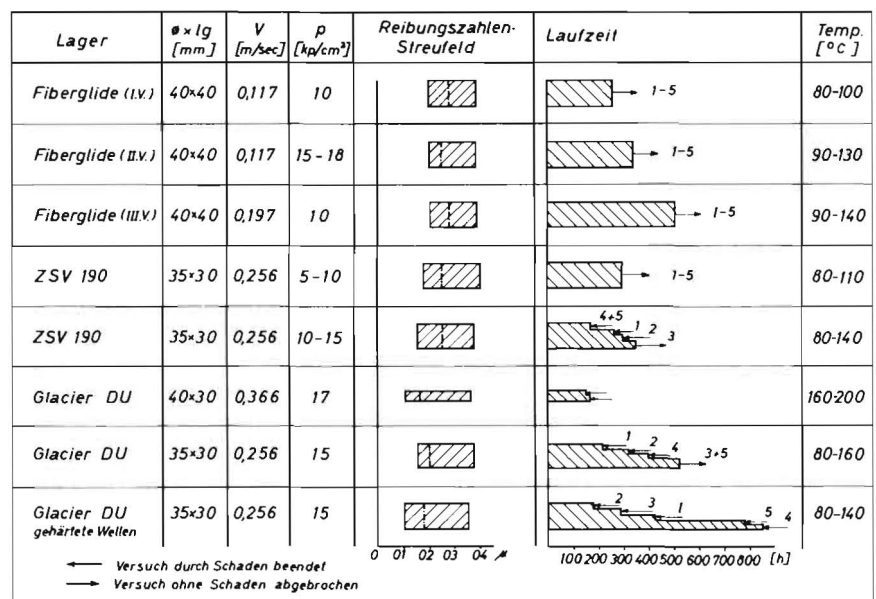


Bild 15: Versuche mit Kunststoff-Gleitlagern  
Zusammenfassung der Ergebnisse

## Résumé

*Rudolf von Ow: "Experiments with Friction Bearings made of Plastic".*

*Of the plastic bearings for dry operation, those with a friction surface based on polytetrafluor ethylene (PTFE-basis) showed the most favourable friction values. Economical fields of application can be found where with medium to high pressures small rubbing speeds occur. Owing to the fact that PTFE-bearings are expensive because of their processing and material, as compared with bearings made of the thermoplastics acetal resin or polyamid, one has to decide from case to case whether these cheaper materials should not be used.*

*Rudolf von Ow: «Essais avec les paliers lisses en matières plastiques».*

*Les paliers en matières plastiques revêtus d'une couche de glissement en polyéthylène-tétrafluorure se distinguent par des coefficients avantageux parmi les paliers en matières plastiques fonctionnant à*

*sec. Leur utilisation est recommandée dans les cas où il s'agit de vitesses de glissement réduites sous des pressions moyennes et élevées. Étant donné que la fabrication et la matière première de ces paliers sont plus chères que celles des paliers faits en les thermoplastiques acétal ou polyamides, on doit examiner dans chaque cas si l'on ne peut pas se contenter des ces paliers moins chers.*

*Rudolf von Ow: «Ensayos con cojinetes de material plástico».*

*Entre los cojinetes para marcha en seco, los que tienen capas de deslizamiento a base de PTFE (politetrafluoretileno) ofrecen valores de deslizamiento favorables. Encuentran condiciones de aplicación especialmente favorables, cuando la velocidad de deslizamiento sea poca, con presiones medias hasta elevadas. Como los cojinetes PTFE son más caros que los de los termoplásticos «resina-acetal» y «poliamida», a causa del precio del material y del coste de su fabricación más elevados, hay que decidir en casos determinados, si pueden o no emplearse estos materiales más económicos.*

## PERSÖNLICHES

### Bundesverdienstkreuz für Johann Georg Fahr

Am 21. Dezember 1964 wurde im Auftrag des Herrn Bundespräsidenten dem Vorstandsvorsitzer der Maschinenfabrik Fahr AG, Generaldirektor JOHANN GEORG FAHR, in einer Feierstunde vom baden-württembergischen Wirtschaftsminister Dr. LEUZE das Verdienstkreuz Erster Klasse des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland verliehen. Mit dieser Auszeichnung wurde JOHANN GEORG FAHR als ein Unternehmer geehrt, der „trotz der großen Aufgaben innerhalb seines eigenen Unternehmens immer in allgemeinere Bereiche der Wirtschaft hinausgesehen und in vielen bedeutsamen Ämtern und Funktionen mitgewirkt hat.“

### Wechsel in der Leitung des NIAE

W. H. CASHMORE, der langjährige Direktor des National Institute of Agricultural Engineering (NIAE) in Silsoe, England, ist nach Erreichen der Altersgrenze aus seinem Amt ausgeschieden.

Direktor CASHMORE ist vielen deutschen Landtechnikern durch Besuche in Silsoe bekannt geworden. Ab 1925 war er zunächst am Institut für Landtechnik der Universität Oxford tätig und während des Krieges im britischen Landwirtschaftsministerium mitverantwortlich für die Aufrechterhaltung der Ernährungsproduktion. 1945 wurde er zum stellvertretenden Direktor des inzwischen gegründeten NIAE unter dem damaligen Leiter, Direktor S. J. WRIGHT, ernannt. Als Direktor WRIGHT 1946 eine Stellung in der englischen Schlepperindustrie übernahm, wurde die Leitung des inzwischen vergrößerten Instituts an W. H. CASHMORE übertragen, der das Institut ausbaute und ihm dank seiner fachkundigen Leitung zu seinem heutigen internationalen Ruf verhalf. Sein Nachfolger, C. J. MOSS, war längere Zeit in der chemischen Industrie und seit 1958 in leitender Stellung in der Ingenieurzentrale des National Coal Board tätig. (G. S.)

### Neuer Vorsitzender des VDI

Der Vorstandsrat des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) hat den bisherigen stellvertretenden Vorsitzenden, Dr.-Ing. KARL SCHÄFF, Vorstandsmitglied der Steinkohlen-Elektrizität AG (Steag), Essen, für 1965 bis 1967 zum Vorsitzenden des VDI gewählt. Dr.-Ing. SCHÄFF ist Nachfolger von Dr.-Ing. E. h. Dipl.-Ing. A. F. FLENDER, persönlich haftender Gesellschafter der A. Friedr. Flender & Co., Bocholt, der das Amt des VDI-Vorsitzenden sechs Jahre bekleidete. (VDI)

### VDI-Hauptgruppe Technikgeschichte

Professor Dr. phil. WILHELM TREUE, Ordinarius für Geschichte an der Technischen Hochschule Hannover und Lehrbeauftragter für Wirtschaftsgeschichte an der Universität Göttingen, ist zum neuen Vorsitzenden der VDI-Hauptgruppe Technikgeschichte für die Zeit vom 1.1.1965 bis Ende 1967 gewählt worden. Professor TREUE löst den seit Gründung der VDI-Hauptgruppe Technikgeschichte im Jahre 1952 amtierenden Vorsitzenden, Professor Dr. phil. Dr. phil. nat. h. c. HANS SCHIMANK, Hamburg, ab. (VDI)

### Imre Rázsó verstorben

Am 31. Oktober 1964 verstarb Prof. Dr. IMRE RÁZSÓ, geb. am 14. 10. 1904 in Kassa (Ungarn), Inhaber des Lehrstuhls für Landmaschinenbau an der Technischen Universität Budapest.

Prof. RÁZSÓ ist durch seine wissenschaftliche Tätigkeit über die Grenzen seines Landes hinaus bekannt geworden. Nach dem Studium des Maschinenbaues und Ablegung der Diplomprüfung 1926 an der Technischen Universität in Budapest war er von 1929 bis 1937 als Konstrukteur in der Industrie, ab 1929 an der Landwirtschaftlichen Akademie Mosonmagyaróvár tätig. Anschließend erhielt er ein Stipendium für wissenschaftliche Studien in den USA und wirkte nach seiner Rückkehr bis zum Ende des Krieges als Chefkonstrukteur bei der Schlepperfabrik Hofherr-Schraun in Budapest. 1949 wurde er als Ordinarius auf den Lehrstuhl für Landmaschinen berufen. Seine wissenschaftlichen Arbeiten erstreckten sich auf das Gebiet der mechanischen Bodenbearbeitung und der Mährescherentwicklung. Von 1954—1958 war er in der Arbeitsgruppe für Mechanisierung der Landwirtschaft der "European Office of the United Nations" in Genf als erster Präsident tätig. 1949 wurde er zum korrespondierenden Mitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften zu Budapest ernannt.

Ein besonderes Verdienst erwarb er sich durch die Förderung eines hochwertigen wissenschaftlichen Nachwuchses. Seine Schüler sind heute in allen maßgeblichen Bereichen der ungarischen Landtechnik tätig. (G. S.)

### Neuer Generalsekretär

Dr. KURT ZIEROLD, Generalsekretär der Deutschen Forschungsgemeinschaft, ist am 31. Dezember 1964 mit Erreichen der Altersgrenze in den Ruhestand getreten. Zu seinem Nachfolger wurde der bisherige Sedatsreferent der Forschungsgemeinschaft, Dr. CARL-HEINZ SCHIEL, bestellt. Dr. SCHIEL hat sein Amt mit Wirkung vom 1. Januar 1965 angetreten. (BfWF)

### Gemeinschaftsausschuß der Technik (GdT)

Auf der Jahressitzung des Gemeinschaftsausschusses der Technik (GdT) Ende 1964 wurde der neue Präsident des GdT, Dr. rer. nat. h. c. Dr.-Ing. HEINRICH SCHACKMANN, Vorsitzter des Vorstandes der Duisburger Kupferhütte, in sein Amt als neuer Präsident des Gemeinschaftsausschusses der Technik eingeführt. Dr. SCHACKMANN folgt als Präsident des GdT dem im vergangenen Jahr verstorbenen Generaldirektor Dr.-Ing. E. h. Dr. phil. HANS BROCHE.

Der Gemeinschaftsausschuß der Technik befaßte sich auf seiner Jahressitzung mit den Bemühungen um ein Ingenieurgesetz, der Stellung des Diplom-Ingenieurs im öffentlichen Dienst sowie mit Fragen des gewerblichen Rechtsschutzes, des Urheberrechts und der Arbeitnehmererfindung. Außerdem kamen die Forderung auf Errichtung eines Nationalfonds für Wissenschaft und Forschung, das Verhältnis von Staat und Technik sowie die Förderung der technischen Entwicklung zur Sprache. Die Sitzung schloß mit einem Bericht über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Ingenieurwissenschaften. (VDI)