

### Die Fahrzeuglager der Deutschen Reichsbahn.

Von Reichsbahnrat Dr. Ing. Garbers, Wittenberge.

Die vorliegende Arbeit faßt die Erfahrungen zusammen, die seit dem mehr als zehnjährigen Bestehen der Lagerversuchsabteilung in Göttingen gesammelt sind. Während dieser Zeit sind fast alle einigermaßen brauchbar erscheinenden Fahrzeuglager des In- und Auslandes geprüft und so manche Betriebsstörungen, soweit sie auf Lagerschäden zurückzuführen waren, untersucht worden. Es sind Prüfungsmethoden entwickelt worden, die eine ziemlich sichere Voraussage nicht allein für die Bewährung der Lagerkonstruktion und ihre Ausführung, sondern auch für jede Einzelheit, wie Lagerschale und Ausgußmetall, Öl, Schmiervorrichtung, den Einfluß des Lagerspiels und des Verschleißes u. a. gewährleisten. Wenn diese Erfahrungen und Beobachtungen veröffentlicht werden, so geschieht es aus zwei Gründen: einmal, um die Entwicklungslinie aufzuzeigen, die bisher in Göttingen eingehalten ist; denn die Arbeit der Versuchsabteilung besteht nicht allein in der Erprobung der verschiedenen Lagerbauarten und sonstiger, mit dem Lagerbau zusammenhängender Vorschläge, sondern in der Förderung und Verbesserung des einmal für richtig Erkannten. Zum anderen soll diese Arbeit Aufschluß geben über die Besonderheiten des Lagerbaues von Schienenfahrzeugen. Denn diese Lagerung unterscheidet sich so sehr von dem allgemeinen Lagerbau, daß die für diese aufgestellten Theorien und Berechnungsgrundlagen für die Schienenfahrzeuge nur sehr beschränkt Geltung haben. Die Forderung des Austauschbaues bei Wagenlagern, daß jede mit einem festliegenden Radius genau gegossene Lagerschale auf jeden Schenkel, dessen Durchmesser zwischen 115 und 108 mm schwankt, aufgesetzt werden kann, bringt Unterschiede in der Ölluft von 4 bis 11 mm, während nach der allgemeinen Lagertheorie bei derartigen Schenkelabmessungen nur eine Ölluft von weniger als 1 mm vorhanden sein dürfte.

Das Produkt  $p \times v$ , die sogenannte spezifische Lagerbelastung, nimmt infolge dieser großen Ölluft Werte an, die im allgemeinen Lagerbau nicht üblich sind. Bei einer derartig großen Ölluft, wie sie die Wagenachslager aufweisen, ist es falsch, der Ermittlung des  $p$  die projizierte Fläche  $l \times d$  des Schenkels zugrunde zu legen. Die Lagerschale trägt vielmehr nur, dem Durchmesserunterschied zwischen Schale und Schenkel entsprechend, auf einer schmalen Fläche. Wird die Breite dieser Fläche, die sogenannte Laufspiegelbreite, im Mittel mit 60 mm eingesetzt, so ergibt sich bei einer tragenden Schenkellänge von  $l = 183$  und einem Durchmesser von  $d = 115$  bei einem D-Zugwagen, der eine Lagerbelastung von 6,5 t und eine Geschwindigkeit von 110 km/h hat, ein  $p \times v$  von 208, das bei einer Geschwindigkeit von 150 km/h sogar auf 284 steigt. Da das Produkt  $p \times v$  sowohl die sekundliche Reibungswärme als auch die spezifische Kühlleistung bestimmt, werden an die Kühlung derartiger Lager besonders hohe Anforderungen gestellt. In der Verbesserung der Lagerkühlung durch die Schmierölaufuhr liegt der Grundgedanke sämtlicher mechanischer Schmiervorrichtungen.

Die spezifische Lagerbelastung ist in den letzten Jahren ständig gestiegen. Sowohl die Erhöhung der Geschwindigkeit wie die Heraufsetzung der Achsbelastung wirken sich hier aus. Damit steigt auch die erzeugte Reibungswärme. Um sie niedrig

zu halten, ist neben ausreichender Kühlung vor allen Dingen eine ganz einwandfreie Beschaffenheit der aufeinander gleitenden Flächen erforderlich, d. h. die Schenkelbearbeitung gewinnt immer mehr an Bedeutung. Es steht nach den Göttinger Erfahrungen fest, daß das polstergeschmierte Lager auch den erhöhten Betriebsforderungen größtenteils genügt, unter der einen Voraussetzung, daß das Lager in Ordnung ist. Hierzu genügt allerdings nicht, wenn bei Güterwagen das Lager nur alle drei Jahre einmal ausgebessert wird. Auch die Zwischen-Bremsuntersuchung muß sich darauf erstrecken, den ordnungsmäßigen Zustand von Achsschenkel, Lagerschale und Schmiervorrichtung, soweit notwendig, wieder herzustellen. Das geschieht zur Zeit nicht.

Dann soll diese Arbeit der Klarstellung einiger Begriffe dienen. Als wichtigster ist hier die Dauerschmierung zu erwähnen. Darunter ist zu verstehen, daß die Lager nur jeweils bei der planmäßigen Untersuchung der Wagen geschmiert werden. Jede Nachschmierung im Betrieb fällt fort. Diese Dauerschmierung ist wiederholt mit den mechanisch geschmierten Lagern in Verbindung gebracht worden. Die Dauerschmierung ist lediglich eine Abdichtungsfrage und hat mit der Art der Schmierung nichts zu tun. Die Dauerschmierung ist bei mechanisch geschmierten Lagern an sich schwieriger zu erreichen als bei polstergeschmierten, weil im ersten Fall der Schenkel mit Öl überflutet ist und dementsprechend hohe Anforderungen an die Dichtung gestellt werden. Das Polster fördert weniger und beansprucht die Dichtung weniger. Ein polstergeschmiertes Lager läßt sich unter Beachtung gewisser Voraussetzungen auf einfache Weise für Dauerschmierung herrichten, indem eine bei den mechanisch geschmierten Lagern bewährte Abdichtung eingesetzt wird.

Im Anschluß hieran wird auf neuere Bestrebungen im Lagerbau eingegangen, die zum Ziel haben, die sich ständig steigenden spezifischen Beanspruchungen, vor allem der Lokomotivstangenlager, durch konstruktive und gießtechnische Maßnahmen zu beherrschen. Hierzu gehört das sogenannte Dreistofflager und der Schleuderguß.

Zum Schluß wird eine Zusammenstellung der in Göttingen angewandten Prüfungs- und Versuchsmethoden angegeben.

Die vorliegende Abhandlung ist entstanden unter hervorragender Beteiligung der technischen Reichsbahn-Assistenten Nagel und Mascher und des Metallographen Reimann der Lagerversuchsabteilung Göttingen. Ihrer verständnisvollen Mitarbeit, die sich auf langjährige Erfahrungen stützt, sei hier besonders gedankt.

#### I. Prüfeinrichtungen für die Achslager und deren Einzelteile.

Zur Zeit stehen der Lagerversuchsabteilung folgende Lagerprüfstände zu Verfügung:

##### 1. Zwei Rollwerke (Abb. 1).

Es sind dies Prüfstände, auf denen die Achsen unter betriebsmäßiger Belastung bzw. Überbelastung laufen. Die Höchstgeschwindigkeit beträgt 180 km, die höchste Achsbelastung 32 t. Die Temperatur des Achslagers ist ein Maßstab

für die Bewährung, entweder der gesamten Lagerung oder, bei Gleichhalten der übrigen Teile, eines einzelnen geänderten Bauteils. Eine feinere Erfassung der Reibungsverhältnisse innerhalb des Lagers ermöglichen.

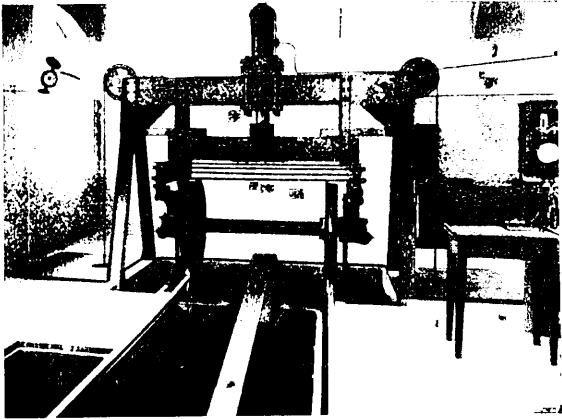


Abb. 1. Rollwerk.

2. zwei Reibungswaagen (Abb. 2).

Die Belastungen und Geschwindigkeiten dieser Prüfstände gleichen denen unter 1.

3. Zwei Polsterprüfstände (Abb. 3).

Das durch das Versuchspolster an die Wellen abgegebene Öl wird abgestreift und gemessen.

Während an den Versuchsmethoden der Rollwerke im Laufe der Zeit wenig geändert zu werden brauchte, waren zur Ausschaltung von Unklarheiten an den Reibungswaagen einige Abänderungen der Versuchsanordnung notwendig. Gegenüber den ersten Versuchen werden die Stützlager der Reibungswaagen gekühlt, um einen Wärmefluß von diesen Lagern durch die Welle zum Versuchslager zu verhüten.

Ferner wird der Staubring bei den Versuchslagern auf der Reibungswaage nicht mehr eingebaut. Die unterschiedliche Reibung und die dadurch hervorgerufene Temperatur der Ringe beeinflusst das Versuchslager verschieden stark. Auf einem Sonderprüfstand wird die Eigenreibung der Staubringe ermittelt. Der sich aus diesen Versuchen ergebende mittlere Reibungswert wird den Versuchen auf der Reibungswaage zu-

Die Ermittlung der Ölförderleistungen der Schmiereinrichtungen wird auf den Polsterprüfständen bei verschiedenen Temperaturen und Geschwindigkeiten vorgenommen. Die gemessenen Mengen sind keine Absolutwerte, weil ein Teil des

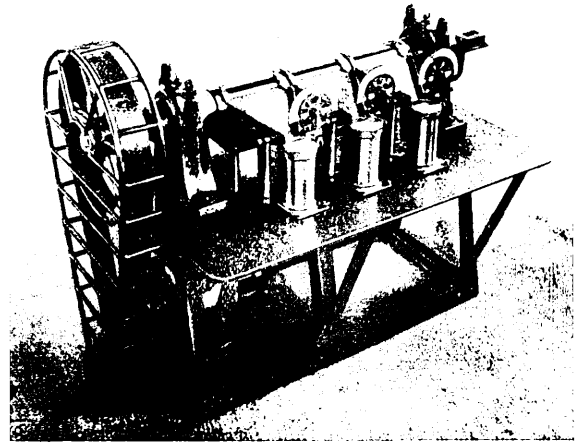


Abb. 3. Polsterprüfstand.

Öles noch unter den Abstreichblechen hindurchschlüpft. Die Ergebnisse ermöglichen aber trotzdem einen guten Vergleich über die Ölabgabe der zu erprobenden Schmiereinrichtungen.

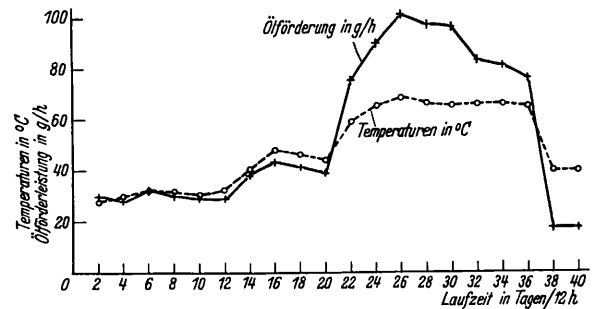


Abb. 4. Temperatureinfluß auf die Ölförderung von Schmierpolstern.

Notwendig bei diesem Prüfstand ist die Einhaltung einer für alle Vergleichsversuche gleichmäßigen Achswellentemperatur, was durch die eingebaute Flüssigkeitsumlaufkühlung gut erreicht wird. Einen Überblick über den großen Einfluß der Temperatur auf die Ölförderung der Schmierpolster zeigen die Schaulinien (Abb. 4).

Weiter ist die Einhaltung einer bestimmten Eintauchtiefe der Schmierpolstersaugfäden wichtig, weil die Ölförderleistung von der Saughöhe abhängt. Werden diese, die Klarheit verschleiernden Einflüsse berücksichtigt, so geben die auf dem Polsterprüfstand ermittelten Ergebnisse einen guten Überblick über die Ölförderleistungen von Schmierpolstern

und damit ein Maß für ihre Betriebsbrauchbarkeit.

Es hat sich aber auch immer wieder die Notwendigkeit ergeben, an die Versuche auf den Prüfständen Betriebsversuche anzuschließen, um den Einfluß der verschiedenen Betriebsbeanspruchungen (Schienenstöße, Herzstücke, Schlingern des Fahrzeugs, Kurvenlauf usw.) auf die Lager feststellen zu

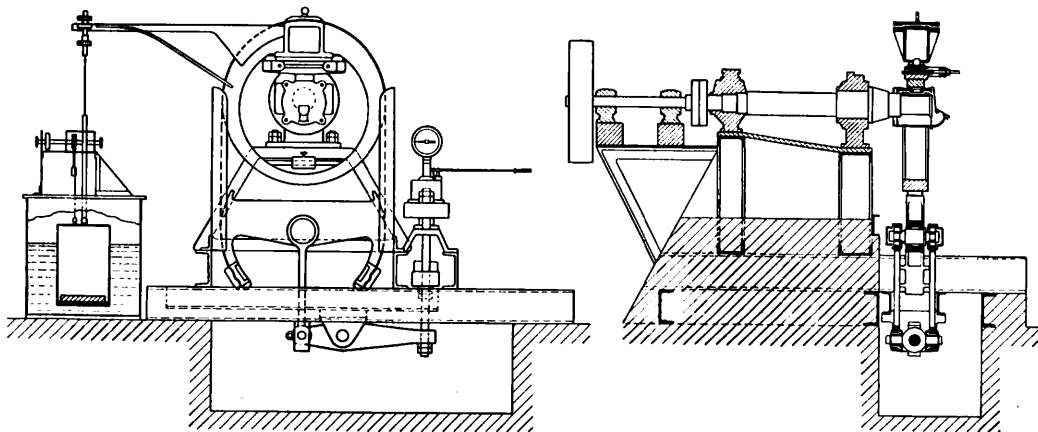


Abb. 2. Reibungswaage.

geschlagen. Die gemessenen Reibungsmomente lagen bei den üblichen Holzstaubringen mit manschettenartiger Filzeinlage zwischen 2,6 bis 8,7 cm/kg, bezogen auf einen Notlaufdurchmesser von 145 mm. Die Lösewitzschen Staubringe für die Personenachslager erbrachten bei gleichen Voraussetzungen Reibungsmomente von 1,1 bis 4,5 cm/kg.

können. Ferner fehlt bei den Prüfstandversuchen der recht erhebliche Einfluß der Luftkühlung durch den Fahrwind. Die Prüfstandversuche können also nur dazu dienen, die grundlegenden Lagerfragen vorzubehandeln.

## II. Beanspruchungen der Achslagerung im Betrieb unter besonderer Berücksichtigung der Wagenachslager.

Bei der Deutschen Reichsbahn werden in der Hauptsache zwei Wagenachslager verwendet: Das Lager nach dem Austauschblatt 02.003.00.02/03 für Personenwagen mit Drehgestellten amerikanischer- und Regelbauart und zweiachsige Personenwagen der Regelbauart und das Lager nach Austauschblatt 02.003.00.01/06/08 für Personenwagen mit Drehgestellten Görlitzer Bauart, zweiachsige Personenwagen der Einheitsbauart und Güterwagen, ersteres kurz P-Achslager, letzteres DWV-Lager genannt. Beide Lagerausführungen zeigt die Zeichnung (Abb. 5).

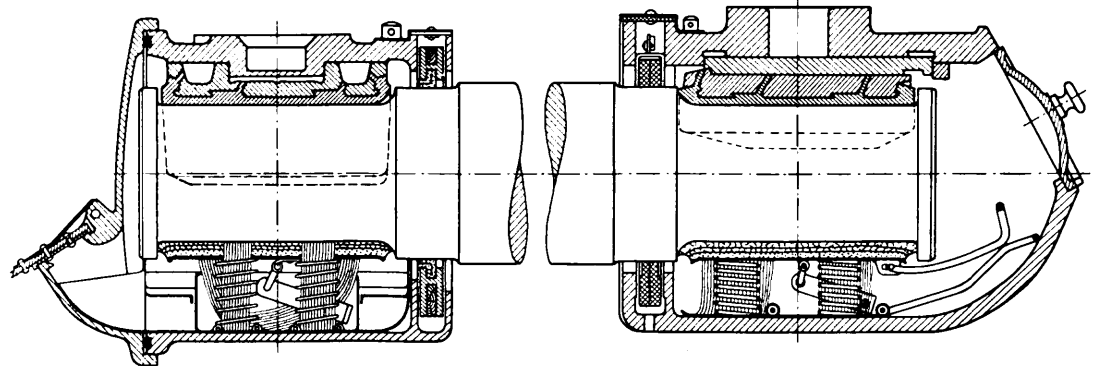
Das Achslager ist im Betrieb von allen anderen Fahrzeugteilen den vielseitigsten Beanspruchungen ausgesetzt. Trotzdem ist bisher kaum versucht worden, Einrichtungen oder Konstruktionen zu schaffen, die zu einer Entlastung dieses Teiles wesentlich beitragen könnten. Alle Maßnahmen zur besseren Abfederung der Fahrzeuge bezogen sich ausschließlich auf die Wagenkasten. Nur vereinzelt ist der Versuch unternommen worden, auch die Achslager an einer gewissen Abfederung teilhaben zu lassen. Zu einer brauchbaren Lösung ist es bisher nicht gekommen, trotzdem eine derartige Maßnahme gerade für die hochbeanspruchten Wagenachslager von großem Vorteil wäre.

Die Beanspruchung des Lagers durch Schienenstöße, Gleislücken der Kreuzungen (Herzstücke) Weichen usw. ist derart groß, daß dessen Lebensdauer hierdurch wesentlich beeinflußt wird. Dies wird insbesondere bei Schwerlastwagen beobachtet, bei denen Mängel an den Lagerausgüssen festgestellt wurden, die bei den niedriger belasteten Fahrzeugen fast unbekannt sind (Ausbröckelungen des Lagermetalls in der Lagerfläche).

Daß diese Mängel eine Folge von großen Schlagbeanspruchungen sind, haben Dauerschlagversuche unter einem Lufthammer bewiesen, bei denen sich gleichartige Ausbröckelungen ergaben. Es handelt sich um eine Ermüdung, wie sie in ähnlicher Art auch bei stark überlasteten Wälzlager beobachtet wurde (vergl. spätere Ausführungen über Wälzlager).

Erheblichen Beanspruchungen sind die Güterwagenachslager bei der Beschleunigung, insbesondere aus der Ruhestellung bei lose gekuppelten Güterzugwagen und bei der Fahrtverzögerung (Bremsen) ausgesetzt. Die weitaus größten Beanspruchungen erleiden die Güterwagenlager aber im Rangierbetrieb beim Auflaufen der Fahrzeuge. Die Beanspruchungen sind hierbei so groß, daß sich die Lagerschalen, insbesondere an der inneren Seite am Notlaufschenkel, außerordentlich stark zusammendrücken. Die üblichen Lagerschalen aus Rg 9 nach Dinormblatt 1705 erfahren durch diese immer wiederkehrenden Stöße eine Zusammendrückung an der Notlaufseite (Stoßübertragung) bis über 7 mm.

Diese großen Verformungen beweisen die sehr starken Beanspruchungen der Güterwagenlagerschalen durch den Rangierbetrieb. Daß es sich hierbei im wesentlichen um Verformungen durch den rauhen Rangierbetrieb handelt, beweisen Vermessungen an Lagerschalen gleicher Bauart aus Personenwagen, die nur Zusammendrückungen bis zu 1 mm aufweisen. Personenwagen sind nämlich diesem Rangierbetrieb nicht unterworfen. Außerdem würden diese Wagen, soweit sie mit P-Lagern ausgerüstet sind, auch kaum geeignet sein, erhebliche Stöße in Fahrtrichtung ohne starke Schädigung aufzunehmen. Die P-Lagerschale umfaßt nämlich den Achsschenkel nur um etwa ein Drittel seines Umfanges. Die Abb. 6 zeigt die beiden Lagerschalen im Querschnitt, die die un-



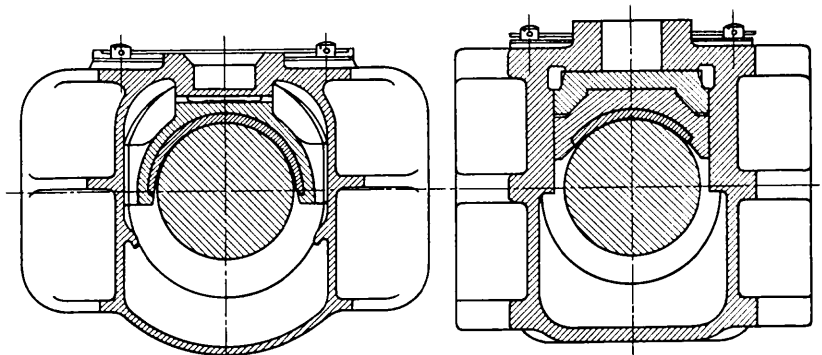
DWV-Achslager nach Austauschbauzeichnung 02.003.00.02/03.

P-Achslager nach Austauschbauzeichnung 02.003.00.01/06/08.

Abb. 5.

günstigen Verhältnisse der P-Lagerschale verdeutlicht.

Durch die Zusammendrückung der Güterwagenlagerschalen, die größer sein kann, je kleiner der Achsschenkel ist, sind verhältnismäßig wenig ernste Schäden entstanden. Eigentlich müßten infolge Klemmens der Schale auf dem Achs-



DWV-Achslager.

P-Achslager.

Abb. 6.

schenkel (Abstreifen des Schmieröles vor Eintreten in die Lagertragfläche) wesentlich mehr Heiß- bzw. Warmläufer auftreten. Aber der Achsschenkel führt in der Fahrtrichtung kleine horizontale Bewegungen aus und schafft sich dadurch wieder ein gewisses Spiel (Ölluft). Messungen an im Betrieb gelaufenen Lagerschalen ergaben gegenüber dem Achsschenkel einen um 0,2 bis 0,5 mm größeren Durchmesser der Lagerschalentragefläche. Im allgemeinen Maschinenbau sind Lagerspiele von dieser Größe durchaus üblich. Sie werden in der Regel zur Erzielung günstiger spezifischer Lagerpressungen sogar von vornherein angestrebt.

Der Weg, den das Öl innerhalb des Lagers zurückzulegen vermag, wird durch die Zähigkeit des Schmierstoffes wesentlich beeinflusst. Je dünnflüssiger ein Öl ist, um so schneller wandert es nach den drucklosen Stellen des Lagers ab. Es darf aber

andererseits nicht zu zähe sein, weil es sonst überhaupt nicht vom Achsschenkel in die Lagerflächen eingepumpt werden kann. Wenn auch die Zähigkeit eines Öles für seine Schmierfähigkeit nicht allein ausschlaggebend ist, so sind doch bisher keine Versuchseinrichtungen bekannt geworden, durch die alle die Schmierfähigkeit beeinflussenden Eigenschaften eines Öles vor ihrer Verwendung im Betrieb bestimmt werden können. Deshalb ist auch auf die vielseitigen, für die Öluntersuchungen vorhandenen Versuchseinrichtungen, die einzelne Eigenschaften des Öles erfassen, nicht eingegangen. Es ist jedoch durch Versuche festgestellt worden, daß die Schmierung bei Wagenachslagern mit Polsterschmierung unsicherer wird, wenn der Weg des Öles durch die Lagerflächen verlängert wird (breite Laufflächen). Es ist ebenfalls bekannt, daß die Länge des Weges durch die Zähigkeit des Öles stark beeinflusst wird. Dies ist für polstergeschmierte Lager mit ihrem geringen Ölangebot von besonderer Bedeutung. Die Ölüberflutung schafft eine Besserung des Schmierzustandes. Diese Besserung ist fast ausschließlich durch die gute Kühlung des Lagers und damit durch die günstigere Zähigkeit des

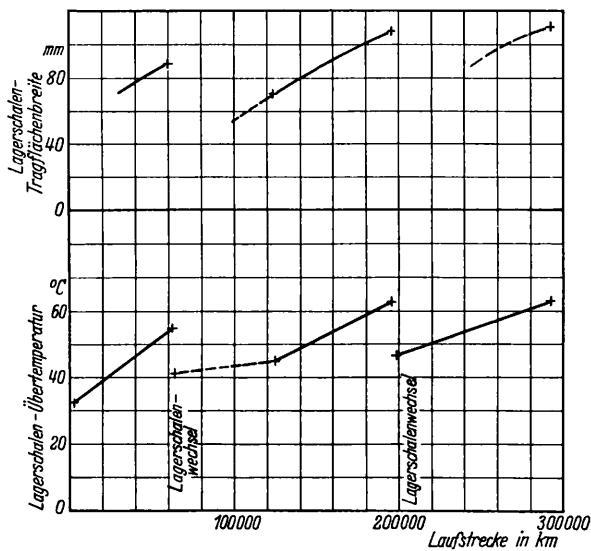


Abb. 7. Einfluß der Laufflächenbreite auf die Lagertemperatur.

Öles verursacht. Würde dem Lager sehr dünnflüssiges Öl selbst in großen Mengen angeboten, so würde hierdurch die Schmierung der Tragflächen kaum verbessert, weil infolge der mangelnden Zähigkeit die Schmierschicht dem Lagerdruck nicht standhalten kann und durchbrochen wird.

Bei polstergeschmierten Lagern, bei denen eine Ölüberflutung und damit eine wirksame Lagerkühlung nicht erreicht werden kann, wirken übermäßige Verbreiterungen der Lagerflächen stets lafschädigend. Es können solche Lager eher einwandfrei geschmiert werden, wenn schmale Laufflächen mit den dadurch bedingten höheren spezifischen Drücken vorhanden sind, als wenn diese Drücke durch Vergrößerung der Lagerflächen herabgemindert werden. Temperaturmessungen an Achslagern der D-Zugwagen haben dies bewiesen. Die Temperaturen lagen nach längerer Laufzeit wesentlich ungünstiger. Der Einfluß der Alterung der Polster ist hierbei von untergeordneter Bedeutung, da durch den Einbau neuer Lagerschalen nahezu die Anfangstemperaturen selbst mit den alten Polstern wieder erreicht wurden (vergl. Schaulinien Abb. 7).

Die geringen Streuungen der Temperaturen bei wiederholtem Einbau neuer Lagerschalen sind durch den zeitlichen Abstand der Versuche zu erklären. Es war nicht möglich, die Versuche immer bei den gleichen Lufttemperaturen durchzuführen. Hierdurch haben die aufgezeichneten Über-

temperaturen der Lager eine gewisse Verschleierung erfahren. Die Lagertemperaturen ändern sich nämlich nicht entsprechend den Unterschieden der Lufttemperatur.

Hieraus geht hervor, daß durch die Anforderungen des Austauschbaues bei den Lagerschalen, die im Neuzustand des Achsschenkels diesem gegenüber einen Durchmesserunterschied von 4 mm aufweisen, unbewußt günstige Voraussetzungen für die Polsterschmierung geschaffen worden sind. Breite Lagerflächen entstehen erst nach langer Laufzeit durch den Verschleiß des Lagermetalls.

Die freizügige Weiterverwendung von gelaufenen Lagerschalen birgt aber auch gewisse Nachteile in sich, die dann zur Auswirkung kommen, wenn Schalen, die ursprünglich auf einem Achsschenkel mit kleinem Durchmesser liefen, später auf einen solchen mit größerem Durchmesser aufgebaut werden. Diese Lager können nicht einwandfrei laufen, sondern führen in der Regel zu Warm- bzw. Heißläufern. Der größte Teil der Lagerschalentragsfläche ist nämlich ausgeschaltet. Der Weiterverwendung von Lagerschalen, die ursprünglich auf einem Achsschenkel mit größerem Durchmesser liefen, stehen dagegen keine Bedenken entgegen, weil sich diese dem kleineren Achsschenkeldurchmesser entsprechend einlaufen können. Das ursprünglich satte Anliegen des Lagerausgusses in der Hohlkehle des Achsschenkels wurde durch zweckmäßige Ausbildung der Lagerausgußmündung beseitigt, weil das satte Anliegen eine ausreichende Schmierung der hochbeanspruchten Bundseiten verhinderte.

Eine wesentliche Besserung brachte die Einführung des Schweizer Bundes, der eine ebene Anlauffläche des vorderen Bundes vorsieht. Die spezifischen Pressungen konnten hierdurch wesentlich vermindert werden. Den ebenen Bund auch an der Hohlkehleseite anzubringen, ist erwogen, jedoch wegen der erheblichen Verminderung der Bruchsicherheit des Achsschenkels nicht ausgeführt worden. Betrieblich gesehen ist die Einführung der ebenen Anlauffläche auf der Notlaufseite des Achsschenkels auch nicht von so ausschlaggebender Bedeutung, weil durch die bauliche Anordnung der Achshalter bei den meisten Fahrzeugen die Axialbelastungen nur vom vorderen Bund aufgenommen werden, während nach der Radseite das Achslager vom Achshalter nicht mitgenommen wird.

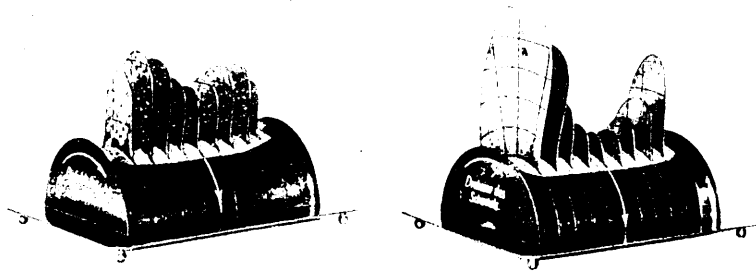
Zur Besserung der Laufeigenschaften der Lager war es notwendig, die Lagerschalen und deren Ausgüsse den Verformungen der Achslagerteile und der Achswelle anzupassen. Dem war früher nicht Rechnung getragen, so daß durch die Verformung der Lagerschale weitere Laufverschlechterungen eintraten. Diese Verhältnisse lagen insbesondere bei der DWV-Wagenlagerschale sehr ungünstig, weil die Übertragung der Lagerbelastung nur an den beiden Enden erfolgt. Die Lagerschale biegt sich infolgedessen stark durch, so daß die mittlere Tragfläche mehr oder weniger von der Lastaufnahme ausgeschaltet wird. Folge hiervon war eine erhebliche Steigerung der spezifischen Lagerpressung an den tragenden Seiten. Gleichfalls mußte die Lagerausgußform auch der Durchbiegung der Achswelle angepaßt werden.

Die Durchbiegung der Lagerschale wurde durch den in der Lagerschalentragsfläche herrschenden Öldruck gemessen. In die Lagerschalentragsflächen mündeten bei den Versuchen Druckröhrchen, die an die Druckmesser angeschlossen wurden. Es ergaben sich Öldruckberge, die deutlich bewiesen, daß die Lagerschalen aus Rg 9 zu schwach sind. Wesentliche Verbesserungen brachten verstärkte Lagerschalen, die einen besseren Öldruckverlauf zeigten (Abb. 8).

Die lafschädigenden Einflüsse der Verformungen von Lagerschale und Achswelle konnten ohne Neukonstruktion des Lagers dadurch herabgemindert werden, daß der Lagerausguß entsprechend ausgebildet wurde. Er hat vorn eine Überhöhung

von 1 mm (Achswellendurchbiegung) und außerdem in der Lagermitte eine solche von 0,2 mm erhalten (Lagerschalenvorformung), die im Gießkern liegen.

Ein anderer Bearbeitungsmangel ist ungenügende Schenkelpolitur. Der Versuch mit solchen Achsschenkeln ist gleichfalls mit der üblichen Polsterschmierung durchgeführt worden (Abb. 10). Auch dieser Mangel wirkt sich immer in hohen Einlauftemperaturen aus. Sie sind gleichfalls Folge der Berührung der Oberflächen von Lagerschale und Achsschenkel. Erst wenn der Achsschenkel durch die Berührung mit dem Lagermetall genügend nachpoliert ist, d. h., wenn die vorragenden Oberflächenunebenheiten weggeschliffen sind, fällt die Temperatur ab. Bei höheren Lagerbelastungen (10 t/Lager) wiederholt sich der gleiche Vorgang in verstärktem Maße (vergl. dritten Lauf).



Verstärkte Lagerschale.

Lagerschale aus Rg 9.

Abb. 8.

Ganz besondere Sorgfalt muß der Bearbeitung der Achsschenkel gewidmet werden, weil die Oberflächengüte den Lagerlauf entscheidend beeinflußt. Der Ölfilm eines Lagers muß dick genug sein, um die Unebenheiten der Oberfläche von Achsschenkel und Lagerschalentragsfläche zu überbrücken. Hieraus ergibt sich die Forderung, die Unebenheiten möglichst gering zu halten. Die üblichen Unebenheiten bei verschiedenen Arbeitsverfahren zeigt folgende Zahlentafel:

Höhe der Unebenheiten bearbeiteter Oberflächen bei ungehärtetem SM.-Stahl.

(Entnommen aus „Grundzüge der Schmiertechnik“ von E. Falz vom Jahre 1926, Berlin: Julius Springer.)

Art der Bearbeitung	Unebenheiten in mm
gedreht . . . . .	0,03 bis 0,04
gedreht und grob geschlichtet . . . . .	0,02 „ 0,03
„ „ fein „ . . . . .	0,01 „ 0,02
geschlichtet und mit Schmirgelleinen Nr. 1 abgezogen . . . . .	0,006 „ 0,007
geschliffen mit Schmirgelscheiben . . . . .	0,004 „ 0,005
geschlichtet und mit Schmirgelleinen Nr. 00 abgezogen . . . . .	0,003 „ 0,004
prägepoliert . . . . .	etwa 0,003

Inwieweit schlechte Oberflächen den Lauf eines Lagers beeinflussen, haben Laufversuche auf den Prüfständen einwandfrei ergeben.

Die Schaulinien (Abb. 9) zeigen den Temperaturverlauf von wolkig geschliffenen Achsschenkeln bei betriebsüblicher Polsterschmierung. Derartige Mängel können hervorgerufen werden durch schlecht gelagerte Schleifbänke, dynamisch schlecht ausgewuchtete oder unrunde Schleifscheiben, Radsätze mit verlagertem Schwerpunkt u. a. m. Der erste Lauf zeigt einen stetig ansteigenden Temperaturverlauf als Folge der teilweisen Berührung von Oberflächenerhöhungen der Schenkel und Lagerschalen. Haben sich diese etwas abgeschliffen, so ergeben die weiteren Versuche bei gleichen Belastungsverhältnissen günstigere Werte, wie der zweite Lauf zeigt. Bei Steigerung der Belastung wiederholt sich dieser Einlaufvorgang aufs neue, ist jedoch weit schwieriger. Dieser dritte Laufversuch bei 10 t/Lagerbelastung hat zum Heißlaufen geführt. Selbst wenn ein Heißlaufen nicht eintritt, führen die hohen Temperaturen im Einlauf zu einer erheblichen Schädigung des Lagers und insbesondere der Schmierpolster, deren Faserstoff bei etwa 150° C schon stark angegriffen wird (Beginn des Verkohlens).

Bei guter Achsschenkelpolitur (Prägepolitur) sind solche Temperaturerhöhungen auch im Einlauf sicher zu vermeiden (vergl. Schaulinien Abb. 11). Bei allen Belastungen streben die Lagertemperaturen dem Beharrungszustand zu.

Diese Ergebnisse zeigen den Vorteil gut bearbeiteter Schenkeloberflächen. Deswegen muß immer wieder auf die Notwendigkeit einwandfreier Oberflächenbearbeitung hingewiesen werden. Bei Heißläuferuntersuchungen im Betrieb, denen die mannigfachsten Ursachen nachgesagt

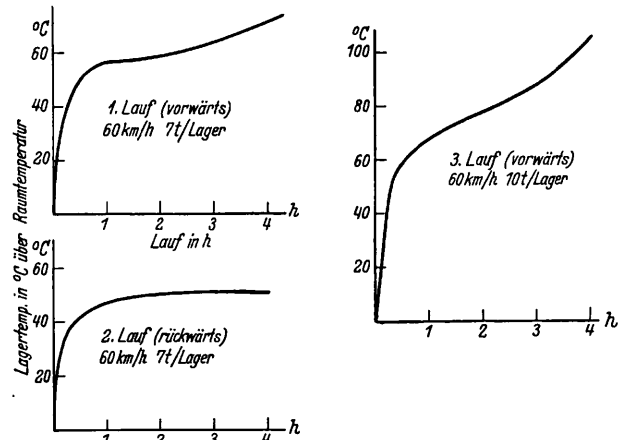


Abb. 9. Achsschenkel mit wolkigem Schliff.

wurden, ist vielfach eine bessere Schenkeloberflächengüte angestrebt und damit die Heißlaufgefahr schlagartig beseitigt worden. Andere Ursachen, wie schlechte Schmierpolster,

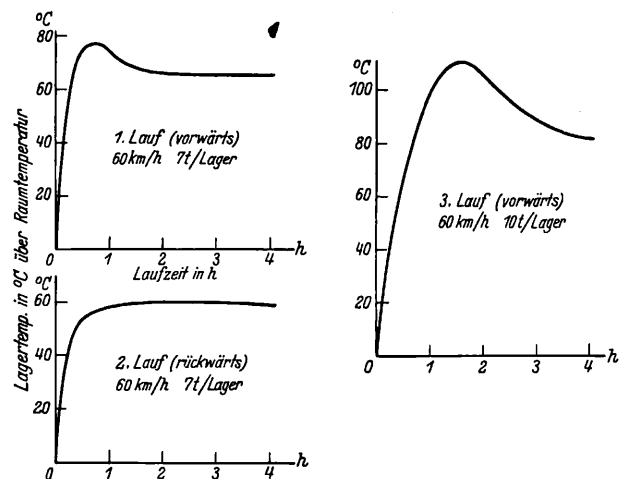


Abb. 10. Achsschenkel mit ungenügender Politur.

schlechtes Öl usw. treten gegenüber der mangelhaften Beschaffenheit der Schenkeloberflächen weit zurück und können erst in den Bereich der Betrachtungen gezogen werden, wenn der Achsschenkel in Ordnung ist.

Da die gute Prägepolitur der Achsschenkel mit einfachen Mitteln zu erzielen ist, muß angestrebt werden, die Prägepolitur überall da anzuwenden, wo sie möglich ist. Genau so wichtig ist es aber auch, die der Prägepolitur vorhergehende Bearbeitung des Achsschenkels diesem Polierverfahren anzupassen. Es ist z. B. abwegig, die Achsschenkel vor dem Prägepolieren zu schleifen, weil einmal vorhandene Schleifwolken durch das Prägepolieren nicht entfernt, sondern höchstens abgeschwächt werden können. Die Prägerollen laufen nämlich den Unebenheiten entsprechend über die Schenkeloberfläche. Soll eine gute Prägepolitur erreicht werden, so müssen derartige Mängel von vornherein vermieden werden. Die Achsschenkel müssen vor dem Prägepolieren zweckmäßig mit einem Schälstahl fein gedreht werden. Ein Vorschleifen ist falsch.

Sinngemäß muß auch bei der Prägepolitur des Schweizer Bundesverfahren werden. Es empfiehlt sich, die hierfür zu verwendende Prägerolle leicht konisch auszuführen. Dadurch wird es ermöglicht, die Bundanlaufflächen bis auf den Grund zu polieren.

Aber nicht allein die Vorgänge im Lager selbst beeinflussen seinen Lauf. Wie Schienenstöße, Herzstücke usw. das

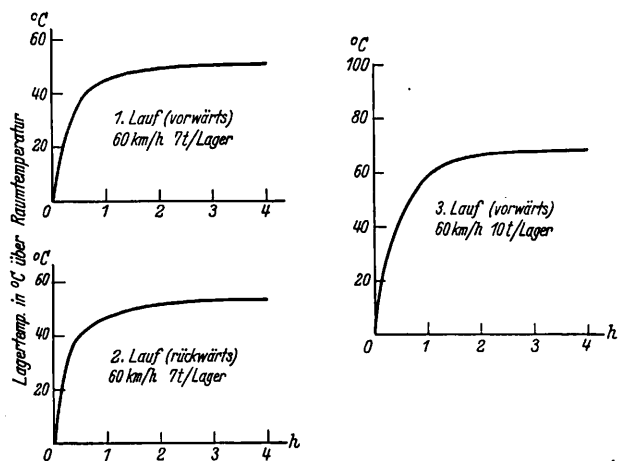


Abb. 11. Achsschenkel prägepoliert.

Lager schlagartig beanspruchen, so tritt dies in erhöhtem Maße bei Flachstellen im Radreifen auf. Ihre hämmernde Wirkung zerstört den Ölfilm. In gleicher Richtung liegt die Wirkung unausgeglichener Radsätze. Hier kommen Schwerpunktverlagerungen der gepreßten Radscheiben vor. Dynamische Auswuchtung beseitigt solche Mängel. Bestehen Belastungsunterschiede zwischen den beiden Radsatzhälften (Ladegutverlagerung), so kann dadurch ein einseitiger Lauf und damit Bundreibung auftreten. Dieselbe Wirkung haben ungleiche Radreifendurchmesser eines Radsatzes (da die Radreifen auf gleichen Durchmesser abzurollen suchen, wird der Radsatz nach der Seite des kleineren Durchmessers verschoben und läuft am Bunde an).

Auch die ungünstige Beanspruchung der Achslager durch verformte Wagen-Lang- und Querträger, die schiefe Federstellung und damit einen Bundanlauf des Achslagers hervorrufen, sind im Betrieb auftretende Fehlerquellen.

Aufgabe der Unterhaltungs- und Betriebsstellen ist es, diese Fehler zu vermeiden bzw. sie zu beseitigen. Dann ist mit einer wesentlichen Laufverbesserung der Wagenachslager zu rechnen. Dies wäre um so mehr zu wünschen, weil die Auffindung der Mängel und die Möglichkeit ihrer Beseitigung oft erst durch umfangreiche und zeitraubende Untersuchungen oder gar Prüfstandsversuche ermittelt werden kann.

### III. Schmierung der Wagen-Gleitachslager.

Nachdem die Verbesserung des Wagenachslagers durch Beseitigung von Mängeln behandelt worden ist, sollen nunmehr

noch die Ergebnisse kurz zusammengefaßt werden, die durch Vermehrung der Schmierölführung eine Steigerung der Betriebssicherheit des Achslagers gebracht haben.

Die Bestrebungen, die Schmierölführung zum Achslager zu erhöhen, laufen in zwei Richtungen:

- Verbesserung der Polsterschmierung.
- Mechanische Schmierölführung.

Die bei den Wagenachslagern der Reichsbahn verwendeten Schmierpolster sind in der Regel auf ein besonderes Gestell aufgebracht, das den Polsterflor durch Spiralfedern an den Achsschenkel andrückt.

Die Entwicklung der Schmierpolster hat folgenden Weg genommen:

Früher wurden bei den Wagenachslagern Polster verwendet, bei denen die in das Ölbad eintauchenden Saugfäden in den Polsterwebstreifen eingezogen waren. Die gedrehten Polsterflorfäden hatten eine Stärke von etwa 2 mm und waren aus Wolle gefertigt. Die Trennung der Saugfäden vom Polsterflor hatte den Nachteil, daß das Öl von den Saugfäden zunächst an die Schmierpolsterfäden und von diesen erst an den Achsschenkel abgegeben wurde.

Eine Besserung brachte das sonst gleiche Schmierpolster der Regelbauart, dessen Saugfäden in das Polster derart eingewebt waren, daß sie gleichzeitig auch als Florfäden durch das Grundgewebe geführt wurden. Bei diesen Schmierpolstern wurde also das geförderte Öl vom gleichen Faden angesaugt und auch an den Achsschenkel abgegeben.

Später wurden an Stelle der dünnen Gewebefäden solche bis zu 6 mm Stärke und anstatt Wolle ein Gemisch von Wolle und Baumwolle, ja selbst reine Baumwolle verwendet. Die Saugfäden waren bei diesen wie auch bei der weiteren Polsterentwicklung immer eingewebt.

In Weiterentwicklung entstand ein Schmierpolster, das abwechselnd aus je 6 mm starken gedrehten Woll- und Baumwollfäden bestand. Als wesentliche Neuerung wurden bei diesen Schmierpolstern Hanfnoppen miteingewebt, die das unter der Einwirkung der Schenkeltemperatur übliche Zusammenbügeln des Polsterflors verhüten sollen. Es wurde mit diesen Schmierpolstern wohl eine erhebliche Steigerung der Ölförderung erzielt, jedoch zeigten Betriebsversuche einen schnellen Verschleiß der Baumwollfäden.

Als letzte Verbesserung ist ein Schmierpolster entstanden, bei dem die gut saugende Baumwolle und die mechanische Haltbarkeit der Wolle in sinnvoller Weise entsprechend den besonderen Vorzügen dieser beiden Stoffe in einem Faden vereinigt ist. Es ist in einen geflochtenen Wollschlauch ein Baumwollfaden eingelegt. Die Hanfnoppen sind ebenfalls vorhanden. Mit diesen Schmierpolstern ist eine wesentliche Besserung der Schmierölführung zum Achslager erreicht worden. Außerdem ist die Haltbarkeit des Polsters bei Betriebsversuchen als gut erkannt, so daß bereits eine größere Anzahl dieser Polster, insbesondere bei hochbelasteten Fahrzeuglagern, im Betrieb eingebaut worden ist (Abb. 12).

Die Grenze der möglichen Ölförderung scheint noch nicht erreicht zu sein. Sie kann durch eine größere Anzahl der in das Ölbad eintauchenden Saugfäden gesteigert werden, so daß die Lagerkühlung mit diesem Schmierpolster weiter verbessert werden kann. Hierdurch wird dem Polster ein größerer Verwendungsbereich erschlossen.

Versuche mit verschiedenartigsten Schmieren haben den Anforderungen nicht genügt. Auf sie ist daher nicht eingegangen.

Prüfstandsversuche ergaben, daß mit kleiner werdender Saughöhe der Schmierpolster die Ölförderung erheblich steigt. Betriebsversuche an D-Zugwagen bestätigten den großen Vorteil geringer Saughöhen. Schmierpolster, bei denen die Saug-

höhe etwa 25 mm betrug, gegenüber ~ 55 mm der Normalausführung, brachten merkliche Achslagertemperaturbesse-  
rungen.

Gleichfalls der Vermehrung der Ölzuführung dienen die mechanischen Schmiervorrichtungen. Die Ölüberflutung der Achslager ist hierbei so groß, wie sie bei Polsterschmierungen nicht zu erreichen sein wird. Folge dieser Ölüberflutung ist eine sehr intensive Lagerkühlung, so daß den mechanischen Schmiervorrichtungen anfangs eine große Zukunft bei den Fahrzeuglagern der Reichsbahn zuerkannt wurde.

Es sind eine Anzahl der verschiedensten Ausführungen für Wagenachslager entwickelt worden, die aber zumeist bei den ungünstigen Beanspruchungen, denen die Schmier-  
vorrichtung im Betrieb ausgesetzt ist, nicht genügten.

Es haben sich aus der Vielheit der Ausführungen zwei Hauptrichtungen entwickelt. Eine, die das Öl von unten her durch Rollen gleich an den Schenkel bringt, und eine, die das Öl von oben her über die Schale der Lagerschale zuführt.

Die am Schenkel laufenden Röllchen — zuerst aus Stahl gefertigt, dann, wegen der schädigenden Wirkung auf den Achsschenkel, aus Kunststoff — führen das Öl unmittelbar an den Schenkel. Diese Schmiervorrichtung ist später auch so entwickelt worden, daß sie ohne besonderen Ölkasten im Achslagergehäuse eingebaut werden konnte (Abb. 13).

Eine ähnliche Schmierrolle hat in der Oberfläche gewindeartige Vertiefungen, die der größeren Ölförderung dienen sollen (größere Oberfläche). Nachdem anfangs Stahl für die Schmierrollen verwendet war, wurden diese zur Verhütung der Verhämmerungen des Schenkels später ebenfalls aus Kunstharzpreßstoff gefertigt. Diese Schmier-  
vorrichtung ist außerdem noch mit einem Ölverteilungsschuh versehen, der das geförderte Öl schon vor dem Eintritt in die Lagerfläche auf der Achsschenkeloberfläche verteilen soll. Da das Öl im Einlaufkeil der Lagerschale ohne besondere Hilfsmittel gut verteilt wird, sind derartige besondere Ölverteilungseinrichtungen als überflüssig anzusehen, stellen also nur eine unnötige Verteuerung der Schmier-  
einrichtung dar. Um eine sichere Mitnahme der Schmierrollen zu erreichen, sind später bei dieser Vorrichtung zwei Schmierrollen angeordnet.

Allen diesen Schmiervorrichtungen haftet der Mangel an, daß bei tiefen Temperaturen die Mitnahme der Rollen durch den Achsschenkel nicht gewährleistet ist. Das Öl wird nämlich so zähflüssig, daß die Rollen stecken bleiben. Dieser Zustand bleibt so lange erhalten, bis die Wärmestrahlung vom Achsschenkel das Öl wieder genügend erwärmt hat. Folge des Versagens der Schmierung waren Heißläufer innerhalb kurzer Zeit. Wo diese nicht gleich eintraten, erfolgte zumeist eine erhebliche Schädigung des Lagers durch mangelnde Schmierung. Hinzu kommt, daß sich Wasser im Achslagergehäuse ansammelt (Schwitzwasser oder Regenwasser bei ungenügender Dichtung der Öldeckel vom Achslagergehäuse), das bei tiefen Temperaturen gefror und die Schmierrollen einschloß.

Durch Versuche im Betrieb sind die Einwirkungen dieser Mängel bei  $-17^{\circ}\text{C}$  einwandfrei ermittelt und gaben damit die Erklärung für die zahlreich beobachteten Heißläufer. Die Achslager waren mit dem bei der Reichsbahn üblichen Mineral-  
Winteröl geschmiert. Werden im Winter dünnflüssigere Öle

verwendet, so werden sich diese Mängel etwas beseitigen lassen, Voraussetzung ist aber, daß das Eindringen von Wasser in die Achslager sicher vermieden wird. Solche besonderen Öle konnten zur Milderung dieser Mängel für die mechanischen Schmiervorrichtungen nicht vorrätig gehalten werden, weil dies wirtschaftlich nicht gerechtfertigt ist. Es muß von solchen Schmiervorrichtungen gefordert werden, daß ihre Anwendung sowohl im Sommer als auch im Winter bei den üblichen Achsen-  
ölen sichergestellt ist. Dies muß um so mehr verlangt werden, weil derartige Mängel bei den üblichen Polsterschmierungen nicht auftreten, trotzdem diese Achslager sehr

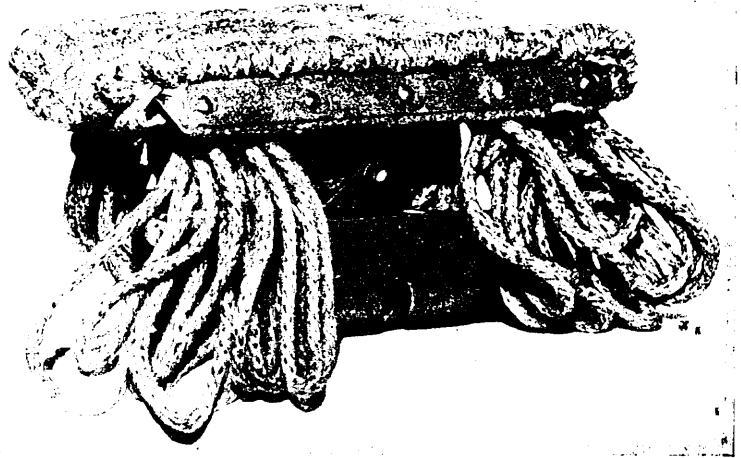


Abb. 12. Neues Schmierpolster.

oft mit Mineral-Sommeröl weit bis in den Winter und mit Mineral-Winteröl bis in den Sommer hinein laufen. Wenn auch im April und Oktober der Ölwechsel vorgesehen ist, so werden doch immer nur die durch Verluste verloren gegangenen Öl-  
mengen ersetzt, so daß bei den Betriebsfahrzeugen meist mit einem Gemisch dieser beiden Öle gefahren wird.

Da die unmittelbar vom Achsschenkel durch Reibung

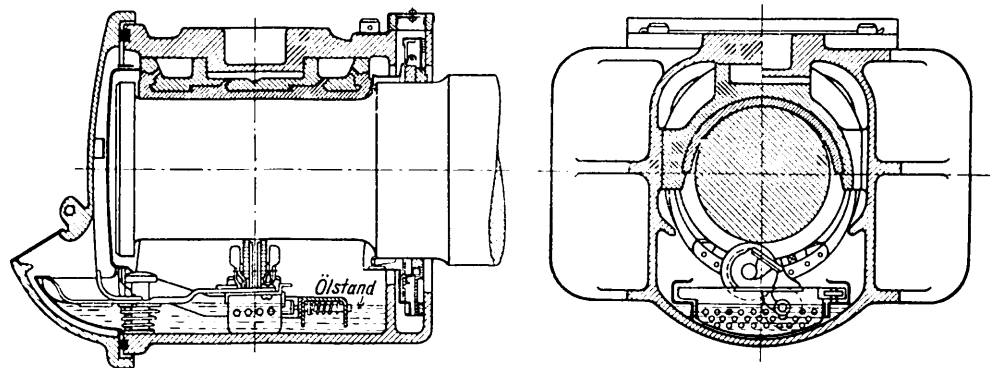


Abb. 13. DWV-Achslager mit mechanischer Schmierrolle.

mitgenommenen Rollen den Mangel mehr oder weniger großer Beschädigungen der Achsschenkeloberfläche haben, wurden Schmiervorrichtungen entwickelt, bei denen der Antrieb vom Achsschenkelbund oder von der Stirnseite des Achsschenkels erfolgte. Eine unmittelbare Berührung der Achsschenkel-  
lauffläche mit dem Ölförderer wurde hierdurch vermieden.

Bei den folgenden Schmiervorrichtungen mußte ein neues Achslagergehäuse entwickelt werden. Es war selbstverständlich, daß bei diesen Lagern von vornherein die Mängel der bisherigen Achslagergehäuse weitgehend vermieden wurden. So wurde fast durchweg die ungünstige Druckübertragung der DWV-Achslager durch die durchgehende Auflage des Achs-

lagergehäuses auf der Lagerschale ersetzt. Eines dieser Lager ist in Abb. 14 dargestellt. Das von der Ölschleuder geförderte Öl tropft von der Lagerschale auf den Achsschenkel. Die Schmierölauführung wird auch bei ausgeschmolzenem Lagermetall nicht unterbrochen. Außerdem ist eine Unterschale angeordnet, die die Stöße in Fahrtrichtung mit aufnehmen muß. Der Abstand der Unterschale vom Achsschenkel kann durch einen Stellkeil zwischen 0.5 bis 2.0 mm konstant gehalten werden, so daß auch eine wirksame Begrenzung des betriebs-

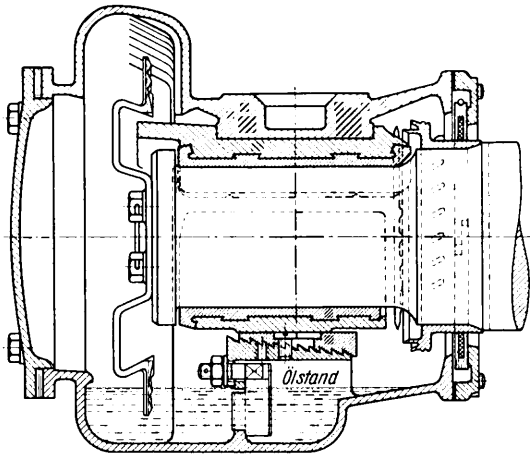


Abb. 14. Sonderachslager mit mechanischer Schmierölförderung.

üblichen Springens des Achslagers erreicht wird. Auch die Schmierung wird durch die Unterschale weiter verbessert, da das vom Achsschenkel ablaufende Öl zunächst in die Unterschale gelangt und dem Achsschenkel nochmals angeboten wird. An der Fortentwicklung hat auch die Ölschleuder teilgenommen. Während ursprünglich glatte Eintauch-Enden verwendet wurden, sind diese später zum Zwecke erhöhter Schmierölauführung mit fächerartigen Vertiefungen versehen worden.

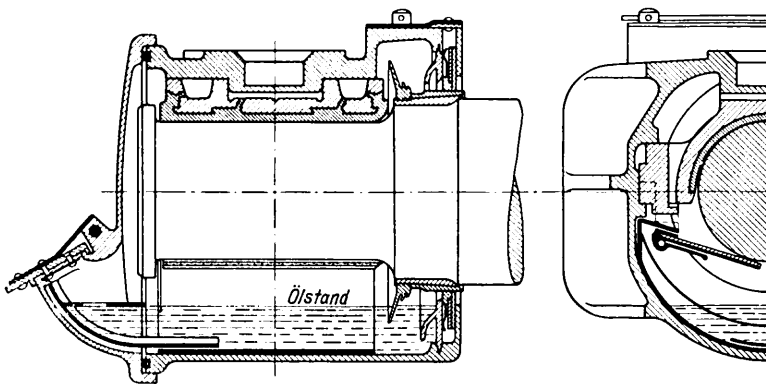


Abb. 15. DWV-Achslager mit Schmierölförderscheibe.

Die besondere Ausführung der Ölschleuder gestattet eine Ölzufuhr zum Achslager sowohl bei niedrigen Geschwindigkeiten durch unmittelbare Tropfung von der Ölschleuder als auch bei hohen Geschwindigkeiten, wenn das Öl an die Gehäusewandung geschleudert und von dort durch Leitinnen der Lagerschale zugeleitet wird. Neuerdings ist dieses Achslager noch weiter verbessert. Die Unterschale greift nicht mehr in die Oberschale ein, sondern wird in besonderen Aussparungen des Achslagergehäuses geführt. Hierdurch ist erreicht, daß die Axialdrücke, die bei diesem Achslager auch von der Unterschale mit aufgenommen werden, nicht erst auf die Oberschale, sondern unmittelbar auf das Achslagergehäuse übertragen werden.

Bei dem auf Abb. 15 dargestellten Achslager konnte die Lagerschale des bisherigen DWV-Achslagers weiter ver-

wendet werden. Die Ölförderscheibe ist hinten auf dem Notlauf angebracht. Die Laufversuche mit diesem Achslager haben bei niedrigen Geschwindigkeiten nicht befriedigt, weil dem Lager das Öl nur durch Abschleudern von der Ölförderscheibe zugeführt werden kann. Folge war Öl mangel in den Geschwindigkeitsbereichen, bei denen das Öl noch nicht von der Ölscheibe abgeschleudert wird.

Eine andere Art der Schmierölauführung ist bei einem neueren Achslager angewendet worden. Der Achsschenkel, der stark verdickt ist, läuft unmittelbar durch das Ölbad. Die Versuche mit diesem Lager sind noch nicht abgeschlossen, so daß über die Betriebsbrauchbarkeit noch kein endgültiges Urteil vorliegt.

Was über die mechanischen Schmiervorrichtungen bei dickflüssigem Öl gesagt ist, gilt zum großen Teil auch für die Sonderachslager mit mechanischer Schmierölauführung. Auch bei diesen verringert sich die Ölförderung bei sehr zähflüssigem Öl (große Kälte) teilweise bis zum vollständigen Versagen. Das Öl hängt wohl syrupartig an dem Ölförderer, wird von diesem aber nicht abgeschleudert oder weitergeleitet. Erst wenn das Öl genügend erwärmt ist, setzt auch die Schmierung wieder ein. In dieser Zeit können aber die Lagertragflächen schon stark geschädigt sein.

Diese Mängel können weitgehend vermieden werden, wenn für diese Achslager Mineral-Winteröl über alle Jahreszeiten verwendet wird, wie es bei der Reichsbahn bereits vorgesehen ist. Dieses ist auch im Winter nicht so zähflüssig, daß eine ernste Betriebsgefahr durch mangelnde Schmierung entstehen könnte. Günstiger in dieser Hinsicht wird sich das erwähnte Achslager verhalten, dessen Achsschenkel unmittelbar durch das Öl läuft, weil dieses schneller die Wärme an das Öl abgibt und damit eher wieder eine regelmäßige Schmierung eintreten kann.

Gefährlich sind bei allen diesen Sonderachslagern Schraubenverbindungen im Gehäuseinnern, die irgendwelche Lagerteile halten. Es sind bei den Betriebsversuchen oft Brüche dieser Schrauben eingetreten, die die Schmiermittelförderer zerstört haben. Es muß immer wieder darauf hingewiesen werden, ungenügende Schraubenverbindungen im Achslager möglichst zu vermeiden. Es darf nicht angenommen werden, daß Schrauben, die keine Zugbeanspruchungen erfahren, durchaus betriebsicher sind. Die Erfahrung hat gelehrt, daß schon allein die Erschütterungen, denen die ungefederten Lagerteile auf die Dauer ausgesetzt sind, genügen, einen Bruch herbeizuführen. Es ist weiter bei den mechanisch geschmierten Lagern notwendig, unbedingt sauberes Öl zu verwenden, weil die Unreinigkeiten von den Schmiermittelförderern mit dem Öl in die Lagerfläche gefördert werden. Wichtig ist auch die sorgfältige Reinigung der Achslagergehäuse, die oft noch von der Gießerei her mit Formsand verunreinigt sind. Gelangen Fremdkörper mit dem Öl in den Lagerspalt, so beschädigen sie die Laufflächen von Lagermetall und Achsschenkel oft sehr empfindlich (Riefen). Folge hiervon sind Laufverschlechterungen, die in schweren Fällen zu Heißläufern führen können. Das Eindringen von Staub in die Achslagergehäuse während des Betriebes muß durch gute Abdichtung des Lagers vermieden werden. Der durch den betriebsüblichen Verschleiß der Lagerteile in das Ölbad gelangende feine Metallstaub kann dagegen ernste Laufstörungen nicht herbeiführen. Demgegenüber haben die polstergeschmierten Achslager den Vorteil, daß selbst bei starker Verschmutzung des Ölbad dem Achslager immer nur durch das Polster gefiltertes Öl zugeführt wird.

Mit dem mechanischen Schmiermittelförderer kann eine erhebliche Schmiermittelfuhr zum Achslager und damit



günstige Wärmeabfuhr erreicht werden. Dies wird sich insbesondere dadurch auswirken, daß derartige Achslager auch bei hohen Geschwindigkeiten eine große Sicherheit gegen Warmlaufen aufweisen. Es ist jedoch erforderlich, daß bei diesen Lagern besondere Richtlinien eingehalten werden, die zur Verhütung von Unregelmäßigkeiten in der Lagerschmierung notwendig sind (Verwendung dünnflüssiger Öle besonders im Winter). Ölverunreinigungen müssen vermieden werden, Schraubenverbindungen müssen insbesondere dort unterbleiben, wo sie bei eintretendem Bruch den Schmiermittelförderer stören können. Weiter ergibt sich die Forderung, daß die Schmiereinrichtungen bei den betriebsüblichen Stößen genügende Haltbarkeit aufweisen. Beschädigungen der Schenkellaufflächen dürfen nicht auftreten.

#### IV. Dauerschmierung bei Wagen-Gleitachslagern.

Nunmehr soll die Frage der Dauerschmierung kurz gestreift werden. Es sind mit den üblichen polstergeschmierten Achslagern Versuche eingeleitet worden, ob bei den bisherigen Achslagergehäusen eine Dauerschmierung und, wo diese nicht restlos möglich, eine Zeitschmierung zu erreichen ist. Die bisherigen Ergebnisse sind zufriedenstellend, jedoch liegt noch kein endgültiges Urteil vor. Es sei darauf hingewiesen, daß die Dauerschmierung nicht von der Art der Schmierölführung abhängig ist, d. h., sie ist bei polstergeschmierten Lagern genau so möglich wie bei mechanisch geschmierten. Die Schwierigkeiten sind geringer bei den Achslagerneuausführungen, wie sie bei mechanischer Ölführung verwendet werden, da bei diesen Lagern Spritzringe, besonders zweckentsprechende Abdichtungen, bearbeitete Flächen in den Staubringkammern usw. gewählt werden konnten, die einer Dauerschmierung sehr dienlich sind.

#### V. Anforderungen an den Baustoff für die Wagen-Achslagerteile.

Zur Erzielung einer möglichst langen Lebensdauer müssen die Achslagerbauteile so widerstandsfähig ausgeführt werden, daß sie den Betriebsbeanspruchungen standhalten. Gußeisen ist als Werkstoff für die Achslagergehäuse nicht geeignet. Dies beweisen die Brüche der Gehäuse, die aus Ge 14.91 gefertigt sind. Besonders häufig sind die Brüche bei dreiachsigen Personenwagen zu beobachten, deren Lager mit dem für die freien Lenkachsen notwendigen Seitenspiel (Erhöhung der Schlagwirkung) ausgerüstet sind. Bei den DWV-Lagern aus Stahlguß, sind derartige Mängel nicht beobachtet, trotzdem diese Lager zumeist in Güterwagen eingebaut und dem rauen Rangierbetrieb ausgesetzt sind.

Die vielseitige Beanspruchung der Lagerschale erfordert eine noch sorgfältigere Auswahl des Baustoffes als beim Lagergehäuse, dessen Brüche schon von außen ohne Mühe erkannt werden können. Neben genügendem Widerstand gegen bleibende Biege- und Stoßbeanspruchungen müssen die Schalen noch eine ausreichende Festigkeit und Gleitfähigkeit bei eintretendem Heißlauf aufweisen. Diese Eigenschaften werden im folgenden als Notlaufeigenschaften bezeichnet, weil sie dann erst verlangt werden, wenn durch irgendeinen Mangel die Temperatur im Lager so hoch gestiegen ist, daß das Ausgußmetall ausgeschmolzen ist und der Lagerschalenbaustoff dann unmittelbar auf dem Schenkel läuft. Beiden Aufgaben, sowohl Widerstand gegen Verformung als auch Notlaufeigenschaft bei Heißläufern, entspricht der Rotguß und die ihm verwandten Kupferlegierungen am besten.

Während des Krieges wurde wegen Mangels an Kupfer und Zinn die Stahllagerschale geschaffen, in die, wie beim Rotguß, das Metall eingegossen wurde. Der Widerstand dieser Lagerschale gegen Verformungen war dem der Rotgußlagerschale weit überlegen, ihr Nachteil zeigte sich jedoch beim Eintritt

des Heißlaufens. Beim Gleiten des Achsschenkels auf der Stahlschale ergab sich ein so starker Verschleiß des Schenkels, daß er in den meisten Fällen unbrauchbar wurde. Oft traten gar Schenkelbrüche mit ihren großen Betriebsgefahren ein. Nach Beendigung des Krieges wurden die Stahlschalen wieder durch Rotguß ersetzt, da dessen Standfestigkeit und Gleitfähigkeit bei Heißläufern von keinem anderen Werkstoff inzwischen erreicht war. Die Erkenntnis der Vorteile der Rotgußschale (gute Notlaufeigenschaft) und der Stahlschale (gute Widerstandsfähigkeit gegen Stoßbeanspruchungen) legten den Grundgedanken zur Entwicklung der rotgußarmierten Stahlgußlagerschalen, die in den verschiedenen Ausführungen hergestellt wurden (Abb. 16).

Die Festigkeit und die Notlaufeigenschaften der Schalen brachten ein befriedigendes Ergebnis. Schwierigkeiten bereitete jedoch die Altstoffwirtschaft, da eine restlose Trennung der beiden Werkstoffe wirtschaftlich nicht möglich war. Bei den weiteren Versuchen zur Schaffung einer widerstandsfähigeren Achslagerschale gelang es, durch eine Sonderbronze mit hohem Ni- und Sn-Gehalt unter Beibehaltung der bisherigen Abmessungen und bei genügender Notlaufeigenschaft die Widerstandsfähigkeit der Lagerschale genügend zu verbessern. In den Jahren ihrer Verwendung haben diese Lagerschalen im Betrieb allen an sie gestellten Forderungen genügt. Ähnliche Erfolge wurden auch mit zinnfreien

Kupfer-Nickel-Aluminium-Legierungen erzielt. Der Al-Gehalt betrug bis zu 10%. Wegen der Gefährdung der Altstoffwirtschaft, die diese Aluminiumbronzes beim Einschmelzen mit üblichen Rotgußlegierungen mit sich bringen, mußte von einer freizügigen Verwendung solcher Schalen im Betrieb abgesehen werden.

Um den Verbrauch an Zinn und Nickel für Lagerschalen einzuschränken, wurden Versuche angeregt, die Rotgußschale durch eine zweckmäßigere Formgebung zu versteifen. Diese Versuche sind noch nicht abgeschlossen.

Zu den bei allen Lagern auftretenden Druck-, Biege- und Gleitbeanspruchungen kommen bei den Schienenfahrzeuglagern die hohen Stoßbeanspruchungen durch die Schienenstöße, Weichen, Herzstücke usw. bei gleichzeitigem Auftreten von Axial- und Radialdruckkräften hinzu, die an das Lagermetall besonders hohe mechanische Anforderungen stellen. Ferner ist bei den Gleitlagern der Schienenfahrzeuge nicht immer Flüssigkeitsreibung vorhanden (Stöße, Anfahrzustand usw.). Besonders erschwerend ist es weiter, daß die Lager nach dem Einbau in der Regel sofort voll belastet und der Einlauf unter Last überwunden werden muß. Hieraus ergeben sich für die Ausgußmetalle folgende Hauptforderungen: Hohe Druckfestigkeit bei ausreichender Verformbarkeit, günstige Einlauf- und Gleiteigenschaften, geringer Verschleiß, genügende Härte und Warmhärte, gute Vergießbarkeit und wiederholte Umschmelzbarkeit, möglichst hohe Erstarrungstemperatur und geringe Schwindung.

Unter den gebräuchlichen Lagermetallen ist keins bekannt, das diesen Anforderungen voll entspricht. Unterteilt man sie

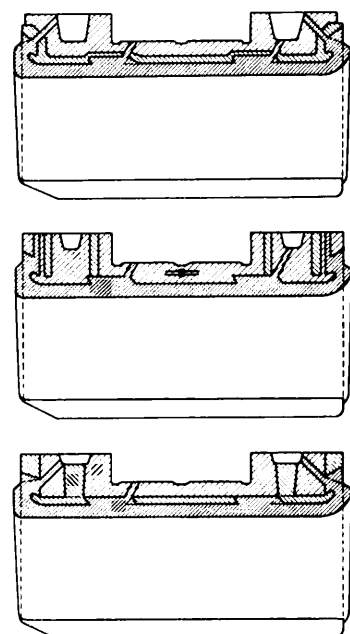


Abb. 16. Verstärkte Wagenachslagerschalen.

nach der Druckfestigkeit, die wohl einen Maßstab für die Tragfähigkeit des Lagermetalls darstellt, so ergibt sich für steigende Belastungen nachstehende Reihenfolge:

Gruppe 1 = Pb-Sn-Sb-Lagermetalle mit einem Sn-Gehalt von 5 bis 20%,

Gruppe 2 = Pb-Alkali-Lagermetalle mit einem Pb-Gehalt über 98%.

Gruppe 3 = hochzinnhaltige Weißmetalle mit etwa 80% Sn,

Gruppe 4 = Blei-Sonderbronzen.

Von diesen vier Gruppen haben sich unter Berücksichtigung ihrer Einlauffähigkeit und Verschleißfestigkeit im Betrieb der Reichsbahn das Bahnmetall für Wagenlager und das WM 80 für Lokomotivlager gut bewährt. Das Bahnmetall gehört zur Gruppe der Blei-Alkali-Lagermetalle, das WM 80 zur Gruppe der hochzinnhaltigen Weißmetalle.

### VI. Wälzachsager.

Neben den Gleitachsagern haben im Jahre 1923 umfangreiche Versuche mit Wälzachsagern begonnen. Es stand eine große Anzahl verschiedener Bauarten zur Verfügung, aus denen sich zwei Ausführungen entwickelten, die heute ausschließlich

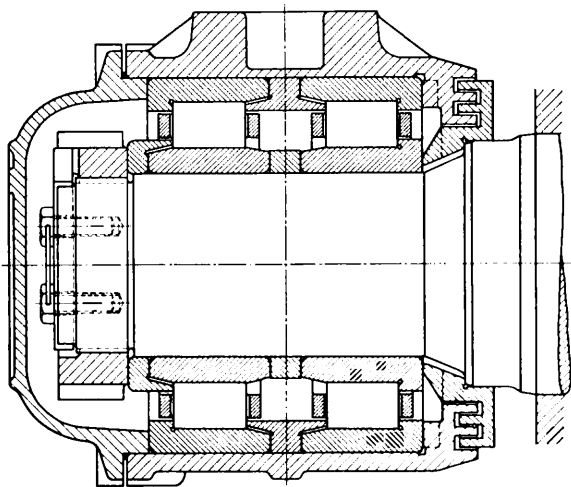


Abb. 17. Zylinderrollenachsager mit aufgeschrumpften Innenringen.

beschafft werden. Es sind dies das Zylinderrollen- und das Pendelrollen-Lager. Auf die Entwicklung mit ihren zahlreichen Vorstufen soll hier nicht eingegangen werden. Es soll nur auf einige besondere Wälzagerausführungen hingewiesen und an Hand von inzwischen beobachteten Mängeln die Betriebsuntauglichkeit einiger Ausführungen nachgewiesen werden. Die Unzulänglichkeiten beziehen sich, wie auch die vorhergehenden Ausführungen über Gleitachsager, ausschließlich auf Schienenfahrzeuge und deren ungünstige Beanspruchungen. Die Ergebnisse können also nicht oder doch nur beschränkt auf andere Verhältnisse übertragen werden. Kugellager haben sich infolge ihrer außerordentlichen hohen spezifischen Pressung im Fahrzeuglager von Schienenfahrzeugen nicht bewährt, trotzdem Kugelabmessungen von fast 100 mm Durchmesser verwendet wurden. Hier kommen nur Rollenlager in Betracht. Bundrollenlager — sie haben in der Mitte der Rolle einen zylindrischen Ring zur Aufnahme des Axialschubs — versagten, ebenso die Kopfrollenlager, die ebenfalls besondere Bunde zu Aufnahme der Axialkräfte besitzen.

Bestens bewährt auf dem Prüfstand und auch später im Betrieb haben sich die Zylinderrollenlager. Es wurden ursprünglich zwei Arten dieser Ausführungen eingebaut. Einmal waren die inneren Laufringe auf den Achsschenkel aufgeschrumpft, zum anderen wurden Spannbuchsen verwendet (Abb. 17 und 18).

Im Gegensatz zu den Rollenachsagern, die eine zylindrische Laufbahn haben, ist das Pendelrollenlager mit gewölbten Laufbahnen versehen, die eine freie Einstellung des Lagers ermöglichen. In jedem Teillager sind zwei Rollenreihen vorgesehen. Zwei solcher Teillager bilden ein Achsager (Abb. 19). Die Rollen selbst sind unsymmetrisch ballig ausgeführt, so

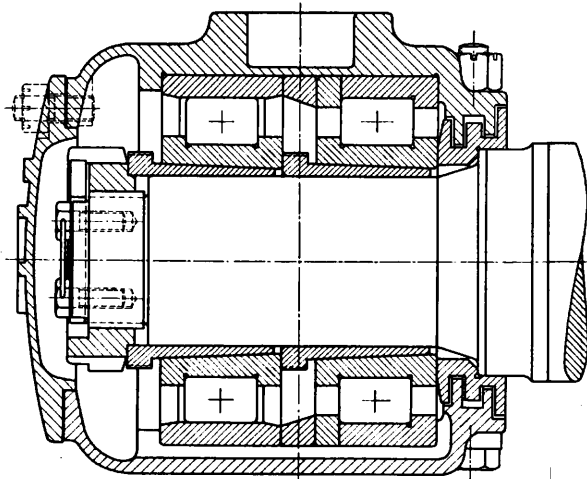


Abb. 18. Zylinderrollenachsager mit Spannhülsen.

daß sich ein Teil der Radiallast auf den mittleren Bund des inneren Laufringes absetzt. Damit soll eine bessere Führung der Rollen erreicht und ein Schränken vermieden werden. Die

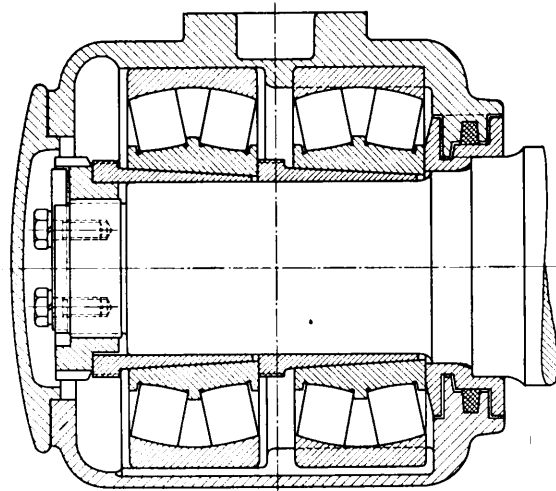


Abb. 19. Pendelrollenachsager mit Spannbuchsen.

Rolle und ihre Lastübertragung zeigt die Skizze (Abb. 20). Auch dieses Rollenlager hat sich auf dem Prüfstand und im Betriebe bestens bewährt.

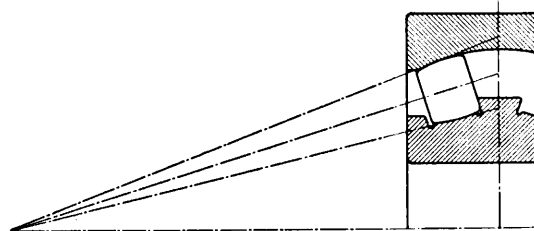


Abb. 20. Ausführung der Pendelrolle.

Es ist dann noch eine zweite Ausführung des Pendelrollenlagers entwickelt, bei der die Rollen symmetrisch ballig ausgeführt sind. Hierdurch wird erreicht, daß die Rollen die Radiallast allein aufnehmen, ohne einen Teil auf den Bund abzusetzen. Um eine einwandfreie Führung dieser Rollen im Lager zu erzielen, müssen sie in der Laufbahn genau geführt

sein. Die Laufversuche auf dem Prüfstand brachten gute Ergebnisse. Gegenüber dem vorerwähnten Pendelrollenlager mit unsymmetrischen Rollen lagen die Reibungswerte bei reiner Radialbelastung etwas günstiger. Dies wird eine Folge der reinen Lastübertragung durch die Rollen ohne Bundreibung sein. Bei zusätzlichem Axialdruck dagegen wird dieser geringe Vorteil wieder verschwinden, weil hierbei die unsymmetrischen Rollen, die entsprechend ihrer Ausföhrung auch einen Teil dieser Drücke umgekehrt in Rollreibung umsetzen, wieder etwas vorteilhafter sein werden.

Die ursprüngliche Achsschenkelausföhrung war zylindrisch. Auf diesen Schenkel wurden die Innenringe entweder aufgeschraubt oder auch mittels zweier gleichgerichteter Spannhülsen aufgezogen. Die Spannhülsen haben den Zweck, die Innenringe aufzuweiten, d. h., sie unter eine Aufweitspannung zu setzen, um damit dem Achslager einen genügend festen Sitz zu sichern. Außerdem verhütet eine auf dem Gewindevansatz des Achsschenkels geschraubte Mutter das Herausrutschen der Spannhülsen. Neben den nicht unerheblichen Betriebsbeanspruchungen hat der Achsschenkel also die Spannungen des Innenringes aufzunehmen. Ihre Größe wurde durch Versuche, bei denen die zum Aufweiten der Innenringe durch die Spannhülsen erforderlichen Drücke gemessen wurden, ermittelt.

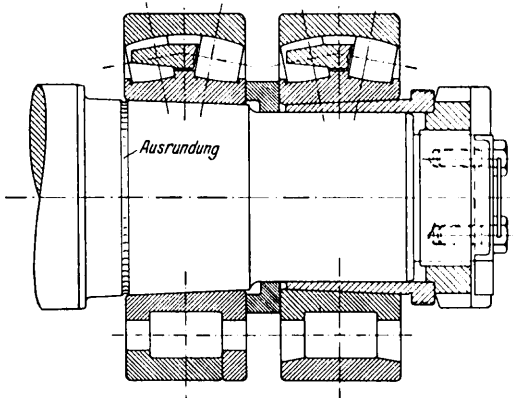


Abb. 21. Konischer Rollenlager-Achsschenkel.

Rein statisch konnten diese Gesamtbeanspruchungen die Sicherheit des Achsschenkels noch nicht gefährden, selbst wenn höchste Fahrzeuglasten angenommen werden. Der Betrieb hat jedoch ein anderes Ergebnis gebracht. Es wurden einige Zeit nach der Einföhrung der Rollenlager für bestimmte Fahrzeuge, insbesondere hochbelastete Kohlegroßgüterwagen, einige Schenkelbrüche festgestellt, die nach ihrem Aussehen einwandfrei eine Überlastung des Achsschenkels erkennen ließen (Dauerbruch). Es konnte beobachtet werden, daß die Oberfläche des Achsschenkels von den Kanten der Spannhülse beschädigt worden war. In axialer Richtung zeigten sich kleine kommaförmige Riefen in der Schenkeloberfläche. Die Entstehung dieser Beschädigungen wird damit zu erklären sein, daß die Spannhülsenenden unter dem großen Druck der Lagerbelastung einschließlich der Aufweitspannung der Innenlaufing mit dem Achsschenkel eine punktförmige Kaltschweißung eingehen. Beim Abziehen der Spannhülsen entstehen dann die kommaförmigen Riefen. Um diese Beschädigungen zu vermeiden, wurden mehrere Änderungen der Spannhülsenkanten vorgenommen. Die Beseitigung der Achsschenkelbeschädigungen wurde durch Einschmirlen einer sanft verlaufenen Vertiefung erreicht. Hierdurch wurde der Schenkel gerade an der höchstbelasteten Stelle wohl etwas geschwächt, jedoch wurden andererseits insbesondere die die Festigkeit in weit größerem Maße herabsetzenden Oberflächenbeschädigungen beseitigt.

Wesentliche Besserungen brachte erst der konische Achsschenkel. Dieser Vorschlag ist um so bedeutsamer, als die Verwendung der bisherigen Rollenlager auch bei diesem Schenkel möglich war. Es wurde nämlich auf den konischen Schenkelteil das Rollenlager unmittelbar aufgezogen. Der vordere Schenkelteil blieb zylindrisch. Hier wurde nach wie vor die Spannhülse verwendet (Abb. 21). Wie die Abbildung zeigt, ist zur Verhütung einer Oberflächenbeschädigung durch die Kanten der Spannhülse der Achsschenkel an dieser Stelle mit einer sanften Ausrundung versehen.

## VII. Schmierung der Wälzachsager.

Der Schmierung der Wälzachsager wurde größte Bedeutung beigemessen. Es mußte auch bei den Rollenachsagern eine Dauerschmierung erreicht werden. Die Versuche haben ergeben, daß sowohl Fett als auch Öl gleich gut verwendet werden kann. Wesentliche Besserungen durch das dünnflüssigere Öl haben sich hinsichtlich der Reibung nicht ergeben. Schwieriger wurde bei der Ölschmierung die Abdichtung des Achslagers und damit die Verhütung von Ölverlusten. Eine Dauerschmierung ist dagegen auch bei Ölschmierung voll zu erreichen. Bei der Fettschmierung liegen die Verhältnisse für die Dauerschmierung weitaus günstiger. Mit der Zeit konnten die ursprünglich bei den Rollenachsagern eingefüllten Fettmengen wesentlich vermindert werden. Die Schmierung blieb trotzdem völlig ausreichend. Es ist nach bisher vorliegenden Ergebnissen erwiesen, daß die Fettmengen länger aushalten, als diese bei den wiederkehrenden Untersuchungen der Wagen überhaupt notwendig ist. Die Frage, ob Fett oder Öl für die Rollenlagerschmierung am zweckmäßigsten anzuwenden sei, kann heute noch nicht endgültig beantwortet werden. Beide Schmierungsarten haben ihre Vorteile. Bei Fettschmierung wird eine Abdichtung des Achslagers gegen Fettverluste einfacher sein. Sie hat aber den Nachteil, daß bei notwendig werdenden Neuschmierungen die Lager geöffnet werden müssen, um das Fett auch in das hintere Teillager hinein zu bekommen. Weiter hat die Fettschmierung den Nachteil, daß vorkommende Schäden an den Lagern bei dem Fettpolster schwerer zu erkennen sind. Bei notwendigen Untersuchungen müssen also die Rollenlager zuvor gereinigt werden. Bei Ölschmierungen ist Nachfüllen leichter. Außerdem ist Öl billiger als Fett. Da die Nachschmierungen und Untersuchungen der Lager, wie schon erwähnt, meist in längeren Zeitabständen vorgenommen werden, ist die geringe Zeitersparnis beim Nachfüllen jedoch von untergeordneter Bedeutung.

## VIII. Die Wagenachsager-Bauarten und ihre Abgrenzung.

Nachdem die bei den Wagen der Reichsbahn zur Verwendung kommenden Achsagerbauarten im wesentlichen beschrieben sind, sollen nunmehr die mit ihnen durchgeföhrten Versuche kurz erwähnt werden, um einen Überblick über den möglichen Verwendungsbereich der verschiedenen Achsager zu erhalten.

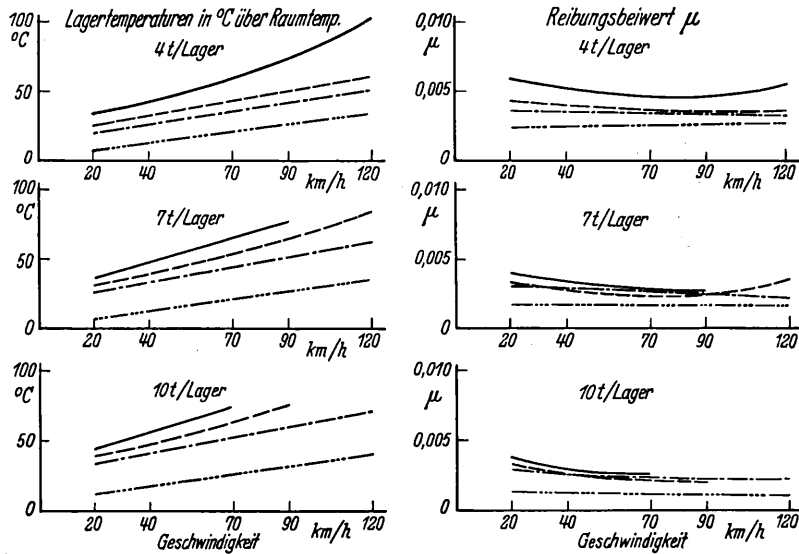
Es werden folgende Achsagerausföhrungen behandelt:

1. DWV-Gleitachsager mit Regelpolsterschmierung (verbesserte Schmierpolster sind noch nicht mit aufgeföhrte worden, weil deren Entwicklung noch nicht voll abgeschlossen ist).
2. DWV-Gleitachsager mit mechanischer Schmiervorrichtung.
3. Sondergleitachsager mit mechanischer Schmierölförderung.
4. Zylinderrollenlager mit Fettschmierung.

Pendelrollenachsager sind nicht aufgeföhrte, weil die Ergebnisse nur unwesentlich von denen der Zylinderrollenlager abweichen.

Zunächst werden die zu prüfenden Achsager auf dem Rollwerk untersucht. Hierbei wird festgestellt, ob die Achs-

lager den an sie zu stellenden Ansprüchen genügen. Die Belastungen und Geschwindigkeiten werden den Betriebsverhältnissen angepaßt. Als Versuchsmaßstab werden vorerst nur die Lagertemperaturen gemessen. Sind diese Versuche zufriedenstellend ausgelaufen, so werden sie auf den Reibungswaagen fortgeführt, um einen Überblick über die dem Achslager eigenen Reibungsverhältnisse zu erhalten.



Zeichenerklärung:

- DWV-Gleitachslager mit Regelpolster-Schmierung.
- DWV-Gleitachslager mit mechanischer Schmierung.
- · - · - · Sondergleitachslager mit mechanischer Schmierung.
- · · · · Zylinderrollenlager mit Fettschmierung.

Abb. 22. Lagertemperaturen und Reibungsbeiwerte von Achslagern.

Die Versuche mit den erwähnten Achslagerausführungen sind derart durchgeführt, daß bei jedem Einzelversuch der Beharrungszustand abgewartet wurde. Die Ergebnisse zeigen die Schaulinien (Abb. 22), wobei die Gleitachslager den durch Sonderversuche ermittelten Zuschlag für den Staubring bekommen haben. Das Rollenachslager ist nicht mit dem bei einigen Ausführungen üblichen Filzring ausgerüstet gewesen.

Aus den Schaulinien ist der Vorteil der Ölüberflutung bei den mechanisch geschmierten Gleitachslagern zu erkennen. Am günstigsten liegen die Werte der Rollenachslager. Der Vorteil wächst insbesondere bei hohen Lagerbelastungen und Geschwindigkeiten.

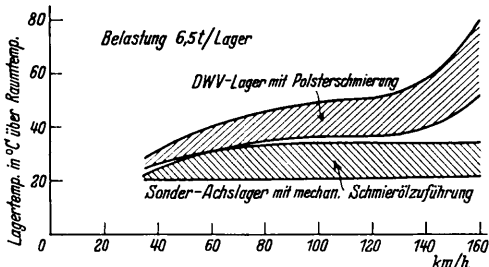


Abb. 23. Betriebsversuche mit Gleitachslagern.

Nach diesen Prüfstandsversuchen könnte den Achslagern mit Polsterschmierung nur ein sehr beschränkter Verwendungsbereich zufallen, weil sie sehr schnell zu hohen Temperaturen neigen. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß bei den Prüfstandsversuchen der kühlende Einfluß des Fahrwindes fehlt. Es ist deswegen zur endgültigen Beurteilung der Lagerbauarten notwendig, auch die Ergebnisse von Betriebsversuchen zu bewerten. Zum Vergleich wurden dabei die Lagertemperaturen herangezogen, weil eine Messung der Zugkraft

(Reibungswerte) bei den verschiedenen Witterungsverhältnissen großen Streuungen unterworfen ist, die die Ergebnisse verschleiern würden. Kurze Betriebsversuche brachten durch die Fahrwindkühlung eine Temperaturbesserung gegenüber den Prüfstandsversuchen von etwa 50%. Es wurde deshalb eine Versuchsreihe bei verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt. Verwendet wurde ein Schnellzugwagen mit einer Lagerbelastung von etwa 6,5 t. Es wurde das in Abb. 23 dargestellte Ergebnis erzielt. Die Werte sind Mittelzahlen von je vier bis acht Lagern.

Diese Betriebsversuche ergaben gegenüber den Prüfstandsversuchen einen wesentlich geringeren Unterschied der Polsterschmierung gegenüber den mechanisch geschmierten Achslagern. Die Tiefst- und Höchstwerte der beiden Lagerbauarten liegen bis etwa 130 km/h eng zusammen. Die angestrebte Besserung der Ölzufuhr bei der Polsterschmierung wird eine weitere Annäherung an die mechanisch geschmierten Lager bringen, wenngleich auch die günstigsten Temperaturen der mechanischen Schmierung wohl nicht erreicht werden können. Es ist dies aber auch nicht unbedingt erforderlich, sondern es braucht nur eine genügende Betriebssicherheit erreicht zu werden, die bei der bisherigen Polsterschmierung über 130 km/h (Dauerbetrieb) kritisch wird. Der ansteigende Ast der Schmierpolster-Schaulinien läßt dies erkennen. Bei Fahrzeugen, die nur kurzzeitig Geschwindigkeiten über 130 km/h fahren, liegen die Temperaturen günstigster.

Neben diesen Versuchen mit D-Zugwagen wurden auch noch Betriebsversuche mit Schwerlastwagen durchgeführt. Die Belastungen betragen bei diesen Wagen etwa 8 und 9,5 t/Lager, die Fahrgeschwindigkeit teilweise über 70 km/h. Die Versuche ergaben, daß selbst bei solch schwierigen Belastungsverhältnissen die bisherige Polsterschmierung ausreicht.

Die Rollenlager sind in diese Betriebsversuchsreihe nicht einbezogen, weil sie bei Fahrzeugen mit höheren Geschwindigkeiten ihre volle Betriebssicherheit bereits bewiesen hatten.

Zur Beurteilung der Lagerausführungen ist auch die Ermittlung der Anfahrwerte erforderlich. Versuche auf den Reibungswaagen (Abb. 24) erbrachten folgendes Ergebnis: Es liegen die Anfahrwerte der Gleitlager zwischen 0,10 bis 0,25  $\mu$ . Ein Unterschied zwischen der Polsterschmierung und den mechanischen Schmierungsvorrichtungen ist bei den Anfahrwerten nicht festzustellen. Dies entspricht den erwarteten Vorstellungen, weil auch bei ölüberfluteten Lagern der Zustand der Lagerflächen für den Anfahrwert allein ausschlaggebend ist. Ein zusammenhängender Ölfilm ist im Ruhezustand zwischen Schenkel und Schale nicht mehr vorhanden. Von Einfluß auf die Größe des Anfahrwertes ist die Stillstanddauer des Fahrzeuges und die Breite der Lagerschalen-tragflächen. Mit der Standdauer wird der Schmierzustand der Lagerflächen schlechter, weil das Öl unter der Einwirkung der Lagerlast langsam aus der Lagerfläche herausgequetscht wird. Dieses Öl wird sich vor den Tragflächen im Ölkeil des Lagers ansammeln. Ebenso beeinflusst auch die Laufspiegelbreite den Anfahrwert erheblich, weil mit der Breite der Lagerflächen

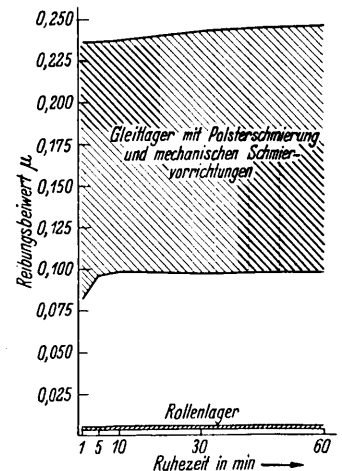


Abb. 24. Anfahr- (Abriß-) Werte von Wagenachslagern.

Die Rollenlager sind in diese Betriebsversuchsreihe nicht einbezogen, weil sie bei Fahrzeugen mit höheren Geschwindigkeiten ihre volle Betriebssicherheit bereits bewiesen hatten.

auch die trockene bzw. halbflüssige Berührungsfläche vergrößert wird.

Um den Anwendungsbereich der verschiedenen Lager erörtern zu können, sei kurz der Leistungsverbrauch verschiedener Lagerbauarten gegenübergestellt: Die Leistung, die ein Lager verbraucht, ist gleich Reibungsmoment  $\times$  Winkelgeschwindigkeit: 75. Da die Reibungszahlen auf der Reibungswaage aus den Reibungsmomenten ermittelt werden, lag es nahe, diese auch zur Bestimmung der Leistung zu verwenden. Auf diese Weise gelang es, die störende Rollreibung auszuschalten.

Zugrunde gelegt ist ein D-Zug-Wagen von 50 t bei einer Geschwindigkeit von  $V = 90$  km/h. Bei dieser Geschwindigkeit beträgt der spezifische Widerstand gemäß den Strahlschen Formeln  $2 + (0,007 + m) \cdot (V:10)^2 = 4,6$  kg/t bei  $m = 0,025$ . Der Gesamtwiderstand ist demnach  $= 50 \times 4,6 = 230$  kg. Nach den Reibungsbeiwerten (vergl. Abb. 22) verbraucht ein Lager mit Polsterschmierung bei 7 t und 90 km/h 0,8 PS: acht Lager eines D-Zugwagens dementsprechend 6,4 PS. Dem entspricht ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades eine Zugkraft  $P = N \times 75 : V = 6,4 \times 75 : 25 = 19,2$  kg. Das sind 8,4% von 230 kg. Die aus dem Lagerwiderstand insgesamt herrührende Zugkraft beträgt also beim Polsterlager 8,4%, bei der mechanischen Schmiervorrichtung 6,8% und bei Rollenlagern 5,2% der Gesamtzugkraft bei 90 km/h.

Der Unterschied der Zugkraft, hervorgerufen durch verschiedene Lagerbauarten, beträgt zwischen Polsterschmierung und mechanischer Schmierung nur 1,6%, zwischen Polsterschmierung und Rollenlager nur 3,2% des Gesamtwiderstandes.

Bei einem D-Zug von zwölf Wagen, die bei  $V = 90$  km/h eine Zugkraft von 2760 kg in der Waagerechten erfordern, entfallen auf die Lager bei Polsterschmierung 230 kg, bei mechanischer Schmierung 188 kg, bei Rollenlagern 144 kg Zugkraft. Zwischen Polsterschmierung und mechanischer Schmierung besteht bei einem Wagenzug von zwölf D-Zugwagen bei einer Gesamtzugkraft von 2760 kg nur ein Unterschied von 42 kg. Diese 42 kg sind noch nicht der fünfte Teil des Widerstandes eines einzigen Wagens.

Diese Zahlen sollen darlegen, daß sich die Zugkraftersparnis und damit die Leistungersparnis bei Verwendung von mechanischen Schmiervorrichtungen auf etwa 1,5%, bei Rollenlagern auf etwa 3% beläuft. Der Reibungsbeiwert bei Ruhe und Bewegung ist bei Wälzlagern praktisch gleich, bei Gleitlagern dagegen sehr verschieden. Daraus ergibt sich, daß bei Zügen, die häufig halten, grundsätzlich Rollenlager vorzusehen sind. Hierher gehören sämtliche Stadt- und Vorortbahnen. Weiter sind Rollenlager bei sehr hohen spezifischen Beanspruchungen, also hohen Geschwindigkeiten und gleichzeitig hohen Belastungen, anzuwenden, z. B. Drehgestellagerung der Schnelllokomotive Baureihe 05.

Bei Zügen dagegen, die lange Strecken ohne Halt durchfahren, ist die teure Rollenlagerung nicht gerechtfertigt. So könnten zweckmäßigerweise alle Großraumgüterwagen Polsterlager anstatt Rollenlager erhalten.

Bei Wagen mit eigener Kraftquelle, z. B. Verbrennungstriebwagen, werden am besten Rollenlager verwendet, um bei geringstem Anfahrwiderstand eine möglichst hohe Beschleunigungskraft zur Verfügung zu haben.

## Neuere Bestrebungen in gießtechnischer und konstruktiver Hinsicht.

### IX. Gießverfahren.

Die Lebensdauer eines Lagers ist nicht allein von einem hochwertigen Lagerausgußmetall abhängig, sondern im wesentlichen auch von der richtigen Formgebung des Lagergrundkörpers und der richtigen Auswahl des Lagerbaustoffes. Die

Versuchsergebnisse brachten die Erkenntnis, daß die an ein Lagermetall zu stellenden Anforderungen, wie ausreichende Härte, hohe Biegefestigkeit, geringer Verschleiß und günstige Gleiteigenschaften nicht allein von der Zusammensetzung des Metalls beeinflusst werden, sondern auch von der richtigen gießtechnischen Behandlung des Metalls und des Lagergrundkörpers abhängig sind.

Die Ausgüsse aus hochzinnhaltigen Lagermetallen oder Metallen auf der Blei-Zinn-Antimon-Grundlage wurden durchweg eingelötet. Bei den hochbleihaltigen Alkalimetallen wie Kalzium, Lurgi und später Bahn-(Bn)-Metall war das Einlöten sehr schwierig. Es bildete sich eine Oxydhaut an der Lötfläche des Lagerausgusses: deshalb wurde nur eine stellenweise Bindung erzielt. Durch das große Schwindmaß dieser Metalle löste sich der Ausguß jedoch teilweise schon bei der Erstarrung und später bei Erwärmung der Lager im Betriebe meist vollständig von dem Schalengrundkörper ab, so daß eine ungenügende Befestigung bei den alten Schalenformen vorhanden war. Für die Haltbarkeit und Lebensdauer eines Lagerausgusses ist sein sattes Anliegen an dem Schalengrundkörper von größter Wichtigkeit, weil die durch die Schwindspannungen herbeigeführten Hohlräume eine Überbeanspruchung des Metalls verursachen. Da Schwindspannungen jedoch nicht aufgehalten und vermieden, sondern nur für die Befestigung des Ausgusses ausgenutzt werden können, wurde in Weiterentwicklung einer einheitlichen Schalenform für Lokomotive und Wagen die sogenannten Umgußschalen mit radialen Verklammerungsnuten geschaffen (Abb. 25).

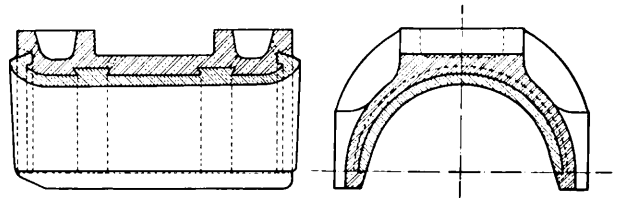


Abb. 25. Umgußschale mit radialen Verklammerungsnuten.

Die Aufstellung allgemeiner Grundsätze für das Schmelzen und Vergießen eines Lagermetalls ist ohne Kenntnis der Legierungszusammensetzung, ohne Ermittlung der thermischen Eigenschaften und ohne Erprobung der Vergießbarkeit nicht möglich. Jedes Lagermetall verlangt seiner Zusammensetzung nach eine verschiedenartige Behandlung, und für das Vergießen sind teilweise noch verschiedenartige Gießformenbauarten und Lagerschalenausführungen notwendig. Die Vergießbarkeit hängt wesentlich von der Zusammensetzung ab, während für die Bestimmung der Mindest- und Höchst-Gießtemperaturen weiterhin die genaue Kenntnis der thermischen Eigenschaften notwendig ist.

Die Frage, welche Gießart, Gießweise und welche Ausgußstärke bei der Herstellung von Lagerausgüssen für die hochbeanspruchten Lager der Schienenfahrzeuge als besonders vorteilhaft anzusehen ist, ist verschieden beantwortet worden. Für alle drei Faktoren ist die Form und die Größe des Lagergrundkörpers von ausschlaggebender Bedeutung. Wenn es gelingt, das Lagermetall rasch und an allen Stellen gleichmäßig zum Erstarren zu bringen, dann ist der Genauguß oder zum mindesten der annähernde Genauguß möglich. Die Verluste an verlorenen Köpfen, Steigern und Verspannung werden gering, wodurch die Wirtschaftlichkeit gehoben wird. Um dies zu erreichen, müssen die Gießformen sorgfältig ausgebildet und ferner die Gießtemperaturen und die Temperaturen der Gießformteile und Lagerschalen zueinander richtig abgestimmt werden. Nicht jedes Lagermetall ist für Genauguß geeignet. Hierfür sind bestimmte Gießformbauarten notwendig. Die Lagerschalen müssen entsprechend vorgearbeitet sein. Bei den

üblichen Umgußschalen führt der ungleiche und große Querschnitt des Ausgusses, bedingt durch die Schwalbenschwanznuten, für den Genauß bei fast sämtlichen Metallen zu Schwierigkeiten. Das Metall erstarrt an den Stellen mit größeren Abkühlungsflächen und kleineren Ausgußquerschnitten zuerst und saugt während der Erstarrung von den noch flüssigeren dickeren Metallquerschnitten Metall ab. Es bilden sich durch diesen Vorgang in den dickeren Metallquerschnitten sogenannte Einfall- oder Saugstellen, die die Tragfläche verkleinern und den Ölfilm unterbrechen. Außerdem entstehen über den Nuten Hohlräume zwischen dem Schalengrundkörper und dem Ausgußmetall, die ein Arbeiten des Metallausgusses ermöglichen.

Nach den bisherigen Erfahrungen ist das in den Güter- und Personenwagenlagerschalen als Gleitmetall verwendete hochbleihaltige Bn-Metall am besten für Genauß geeignet. Für die Wirtschaftlichkeit des Genaußes ist die Massenerstellung von Lagerausgüssen Bedingung. Da bei sämtlichen Güter-, Personen- und Tenderlagerschalen die Normung und der Austauschbau durchgeführt ist, werden diese Schalen in Großgießereien nach bestimmten Richtlinien mit Bn-Metall oder WM 80 (Tenderlager) ausgegossen. Es besteht außerdem bei diesen Lagerschalen der Vorteil, daß die Ausgüsse jeder Schalenbauart nur nach einem bestimmten Gießschenkel hergestellt werden können, was gießtechnisch große Vorteile bringt. Nach dem Ausgießen werden die Schalenausgüsse entgratet und die Schalen sind für den Einbau fertig.

Die Herstellung der Ausgüsse wird in schrägsteigender Gießweise, wobei jedesmal eine Schale auf die Form gebracht werden kann, oder in senkrecht steigender Gießweise, bei der gleichzeitig zwei Schalen ausgegossen werden können, vorgenommen. Die gebräuchlichste Art ist die schrägsteigende.

#### X. Lagereingußmetalle und Lagerbronzen.

Trotz der theoretisch guten Verklammerungsnuten für die Befestigung des Metallausgusses in der Umgußschale treten durch das hohe Schwindmaß des Bn-Metalls Nachteile durch Ribbildung, besonders an der runden Bundseite nach dem Gießen und besonders unter den Belastungen im Betriebe, auf. Diese Schwierigkeiten konnten dadurch vermindert werden, daß die Stirnnuten im Lagerschalenkörper freigearbeitet wurden (Abb. 26). Der Ausguß wurde hierdurch an den gefährdeten Stellen verstärkt und die axialen Schwindspannungen im Ausguß herabgemindert, so daß die Ribbildung nahezu behoben ist. Zur Beseitigung der Senk- und Einsaugstellen über den radialen Schwalbenschwanznuten, die bei fast allen Lagermetallen auftreten, soll der Querschnitt des Ausgusses durch Verkleinerung der Verklammerungsnuten gleichmäßiger werden. Die Versuche sind zur Zeit noch im Gange.

Die bisher übliche Ausgußstärke bei den Güter- und Personenwagenlagerschalen von etwa 7 mm ist die geringste, bei der der Genauß zur Zeit wirtschaftlich gut durchführbar ist. Dünnere Ausgußstärken erfordern eine höhere Erwärmung der Formteile und der Lagerschale, was als Folgeerscheinung eine Steigerung der gießtechnischen Schwierigkeiten mit sich bringt.

Für die Verwendung und Haltbarkeit von Bn-Metallausgüssen in Lokomotivlagern gilt sinngemäß das über Wagenlager Ausgeführte. Durch die hohe Stoßbeanspruchung dieser Lager ist die Lebensdauer der Ausgüsse bedeutend geringer als bei Güter- und Personenwagenlagerschalen. Sie neigen vorzeitig zu Ausbröckelungen. Hinzu kommt, daß besonders der Verschleiß des Bn-Metalls bei den Stangenlagern durch die hämmernde Wirkung des Druckwechsels und die ungünstigen Reibungsverhältnisse infolge der unvollkommenen Ausbildung des Ölfilms groß ist. Die Aufweitung der Lager mußte durch

häufigeren Beilagenwechsel ausgeglichen werden. Für die Lager der schwerbelasteten Lokomotiven hat sich daher Bn-Metall nicht bewährt, so daß seit 1933 die Umstellung auf WM 80-Metall vorgenommen ist. Hier sei kurz das Bn-Metall dem WM 80 gegenübergestellt. Das zur Gruppe der Blei-Alkali-Metalle gehörende Bn-Metall hat folgende Zusammensetzung: Ca = 0,7%, Na = 0,6%, Li = 0,04%, Al = 0,02%, Pb = 98,6%. Ein großer Vorteil des Bn-Metalls ist seine Erstarrungstemperatur bei 312°, die höher liegt als bei den anderen übrigen Lagerweichmetallen üblichen. Die Gefahr des Ausschmelzens beim Heißlauf eines Lagers ist dadurch wesentlich herabgesetzt, ebenso besitzt das Metall, verglichen mit dem hochzinnhaltigen WM 80, eine höhere Warmhärte. Dagegen ist das Bn-Metall bei Dauererwärmungen im Gebiet von etwa 100° nicht mehr härtebeständig. Die Enthärtung liegt begründet in der Aufhebung der Aushärtungseffekte, die sich bei den durch Na, Ca und Li gehärteten Bleilagermetallen infolge der schnellen Abschreckung des Metalls beim Ausgießen der Lager ergeben. Der größte Vorteil des Bn-Metalls liegt in seiner Eignung für den Genauß, so daß jede Lagerschale nach dem Ausgießen ohne weitere Bearbeitung eingebaut werden kann. Zum Schutz gegen Korrosion müssen alle Blei-Alkali-Lagermetalle beim Lagern an feuchter Luft mit einem Schutzüberzug von Öl oder Paraffin versehen werden.

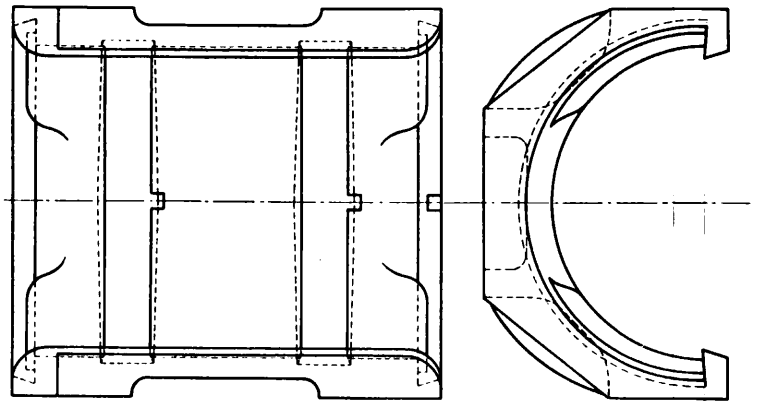


Abb. 26. Lagerschale mit freigearbeiteten Lagerschalenkörper-Stirnnuten.

Für die Lokomotivlager hat sich das hochzinnhaltige Weißmetall WM 80 mit seiner hohen Druck- und Biegezugfestigkeit am besten bewährt, obwohl es nicht an Versuchen gefehlt hat, dieses durch ein gleichwertiges, hochbleihaltiges Lagermetall zu ersetzen. Die Bedingungen, die besonders an einen Lokomotivlagerausguß gestellt werden, wie gute Einlauf- und Gleiteigenschaften bei geringem Angriff der Zapfen, geringer Verschleiß, damit ein Beilagenwechsel nur selten notwendig wird, hohe Druckfestigkeit, um ein schnelles Ausweiten der Lager zu verhüten, und hohe Biegezugfestigkeit, um das Reißen der Ausgüsse zurückzuhalten, werden von den hochzinnhaltigen Lagermetallen am weitgehendsten erfüllt. Für die gießtechnische Behandlung ist ferner von großem Vorteil das geringe Schwinden, wodurch eine innige Bindung zwischen Schale und Ausguß begünstigt wird, ferner die uneingeschränkte Umschmelzbarkeit des Altmetalls. Die Zusammensetzung des WM 80 ist gemäß dem Dinblatt 1703: 80% Sn, 12% Sb, 6% Cu und 2% Pb. Obwohl die bleifreien Weißmetalle (WM 80 F) in ihren Festigkeitseigenschaften dem WM 80 überlegen sind, wird aus wirtschaftlichen Gründen von dem bleifreien WM 80 abgesehen, da dies aus Elektrolytzinn hergestellt werden muß, während für die Herstellung des WM 80 Hüttenzinn verarbeitet werden kann.

Wie bereits ausgeführt, ist die schlagartige Beanspruchung der Stangenlager bei den schnellfahrenden und hochbelasteten

Lokomotiven durch den Druckwechsel des Kolbens sehr groß. Besonders aber wirkt sich diese Stoßbeanspruchung bei Talfahrten aus, wenn bei geschlossenem Regler die hin- und hergehenden Massen ohne Dämpfung schlagartig die Lager beanspruchen. Bei größerer Ölluft der Lager und bei stark aufgeweiteten Treib- und Kugellagern sind die Stöße besonders hart. Diesen hämmernden und stoßartigen Beanspruchungen kann kein Lagermetall standhalten. Daher ist es notwendig, daß sowohl bei Talfahrten der Regler nicht ganz geschlossen wird, um die hin- und hergehenden Massen durch ein Dampfpolster abzufangen, als auch beim Anlegen der Bremsen aus hohen Geschwindigkeiten der Dampf erst allmählich fortgenommen wird.

Infolge dieser Beanspruchungen werden die Ausgüsse der Lager, besonders bei den stoßauffangenden Treibstangenlagern, vorzeitig zerstört. Es bilden sich in der Lagertragfläche netzartige Haarrisse und außerdem größere axiale und radiale Risse. Durch die Rißbildung wird der Ölfilm unterbrochen, was erhöhte metallische Berührung zur Folge hat und zum Heißlaufen führen kann.

Die Ausgußstärken bei den Lokomotivlagern schwanken und betragen, je nach Größe und Lager, bei Neuzustand der Schenkel und Zapfen an den Stellen außerhalb der Nuten etwa 5 bis 12 mm und in den Schwalbenschwanznuten 10 bis 18 mm. Infolge Abnutzung der Zapfen und Schenkel kann sich die Ausgußstärke noch um 6 bis 7 mm erhöhen. Durch die verschiedenen Ausgußquerschnitte ist die Erstarrung des Metalls ungleichmäßig. Es bilden sich, wie bereits bei den Wagenlagern ausgeführt, Hohlräume zwischen dem Schalengrundkörper und dem Ausgußmetall über den Schwalbenschwanznuten, die ein Arbeiten des Ausgusses ermöglichen. Hinzu kommt noch, daß der Werkstoff der Schalengrundkörper bei den zur Zeit vorhandenen Schalengleichschnitten den Beanspruchungen nicht gewachsen ist. Die Schale gibt bei jedem Druckwechsel in der Stange nach, sie atmet. Durch die dauernden Biegebeanspruchungen ermüdet das Metall und neigt schließlich zur Rißbildung. Das sogenannte Atmen wirkt sich besonders bei den geteilten Lagerschalen aus. Durch die dauernden Bewegungen der Lagerschale im Stangenkopf wird oft ein recht großer Verschleiß an dem härteren Stangenwerkstoff durch den verhältnismäßig weichen Werkstoff der Schale hervorgerufen. Die Stangenköpfe müssen daher fast bei jeder größeren Ausbesserung nachgeschliffen werden.

Verschiedene Versuche zur Abstellung dieser Mängel sind unternommen. Es sind wohl Besserungen erzielt worden, jedoch haben die Ergebnisse nicht voll befriedigt. Besonders zu erwähnen sind die Versuche mit einer Cu-Ni-Bronze. Die Lagerschalen aus diesem Werkstoff haben eine hervorragende Biegefestigkeit, jedoch konnte die Rißbildung im Ausguß auch hierdurch nicht beseitigt werden.

Die immer größer werdenden Beanspruchungen der Fahrzeuglager durch Steigerung der Geschwindigkeiten, sowie die steigende Anwendung der Bleizinnbronzen im Maschinenbau bei ausländischen Bahnen veranlaßten die Erprobung der Gleitbronzen in Vollbronzelagern, die naturgemäß in ihren mechanischen Eigenschaften sämtliche Ausgußmetalle weit übertreffen. Aus einer großen Zahl von Prüfstandsversuchen mit den verschiedensten Legierungen wurde bald die Erkenntnis gewonnen, daß nur verhältnismäßig weiche Bronzen die Forderung, unter Last ohne Schwierigkeiten einzulaufen, erfüllen. Zu diesen Lagerbronzen gehörten die Kupfer-Bleilegierungen mit Bleigehalten bis zu 30%, denen zur Erzielung einer genügenden Festigkeit Zinn bis zu 10% zugesetzt ist. Das Vergießen dieser Bronzen mit hohen Bleigehalten bietet jedoch einige Schwierigkeiten. Durch die geringe Löslichkeit des Bleies im Kupfer neigen solche Legierungen zur Schichtenbildung während der Erstarrung, so daß nach dem unteren

Teil des Gußstückes hin eine starke Bleianreicherung stattfindet. Nickel als Zusatz zu Bleibronzen hat die Eigenschaft, schon in kleineren Mengen die Mischungslücke zwischen Blei und Kupfer zu schließen und dadurch die Schichtenbildung aufzuheben. Fast alle Bleibronzen enthalten daher Zusätze von 0,5 bis 3% Ni, wobei das Ni gleichzeitig eine Steigerung der Festigkeit bewirkt. Die Erfolge mit diesen Vollbronzelagern, deren Härte zwischen 45 und 70 Brinelleinheiten liegt, waren teilweise sehr befriedigend, so daß auch Betriebsversuche damit eingeleitet wurden. Ähnlich gute Prüfstandsergebnisse zeigten auch die hochbleihaltigen Manganbronzen, bei denen das Zinn durch Mn ersetzt worden ist. Der Vorteil der Bronzelager liegt in ihrer höheren Verschleiß-, Druck- und Stoßfestigkeit, demgegenüber steht jedoch ihre schwerere Einlauffähigkeit, die ein genaues Aufpassen der Lager erforderlich macht, sowie ihre große Empfindlichkeit bei auftretenden Störungen (Versagen der Schmierung, Staub). Es sind zur Zeit mehrere Lokomotiven versuchsweise mit Lagerbronzen ausgerüstet, jedoch kann ein abschließendes Urteil über die Bewährung noch nicht abgegeben werden.

### XI. Schleuderguß und Druckguß.

Die Weiterentwicklung der verschiedenen Gießverfahren brachte die Erprobung des Schleudergusses und des Druckgießverfahrens. — Das Schleudergießverfahren ist keine neue Erfindung, sondern wird schon seit Ende des vorigen Jahrhunderts angewandt. Es handelt sich hierbei jedoch nur um Herstellung von vollständigen Körpern im Schleuderguß. Verhältnismäßig spät wurde dagegen mit der Einbringung von Lagermetallausgüssen nach diesem Verfahren begonnen.

Beim Schleudern wird die Fliehkraft zur Verdichtung des Metalls ausgenützt. Vorbedingung ist gutes zentrisches Laufen des zu schleudernden Stückes. Die Lagerschalen werden an den Stirnseiten mit zentrisch laufenden Zentrierendrehungen versehen, deren Durchmesser mit den Zentriereindrehungen der oberen und unteren Spannplatten übereinstimmen. Die untere Platte ist als Dichtplatte und Zentrierplatte für den Schleuderkopf vorgesehen, während die obere Platte außerdem noch eine Bohrung zur Begrenzung des Ausgußdurchmessers erhält. Durch die Öffnung wird auch das Metall in die durch Schalengrundkörper und obere und untere Spannplatte gebildete Schleudernform eingebracht. Die auszuschleudernde Lagerschale wird mit den beiden Platten zusammengespannt, vorgewärmt und auf den Spannkopf der Schleudermaschine gebracht. Die Maschine wird nunmehr in Umdrehung versetzt und das Metall in geeigneter Weise eingegossen. Durch die Zentrifugalkraft verteilt es sich gleichmäßig auf die ganze Lagerfläche. Der gewünschte Ausgußdurchmesser wird, wie bereits erwähnt, durch die Bohrung der vorderen Spannplatte bestimmt.

Die ersten Versuche zum Einbringen des Ausgußmetalls in die Lagerschale durch Einschleudern wurden in Göttingen in den Jahren 1930 bis 1931 mit Kompressorlagern vorgenommen. Die Ergebnisse befriedigten damals sehr, jedoch ging die Weiterentwicklung infolge geplanter Umstellung von Bn-Lagermetall auf WM 80 langsam vor sich. Erst im Jahre 1933 wurden auf Grund der Schleuderversuche mit Thermimetall in Lokomotivlagern Vergleichsversuche mit den verschiedenen Lagermetallen im Schleuderguß durchgeführt. In Göttingen wurde zu diesem Zwecke eine Schleudermaschine mit Anlage geschaffen, die heute so weit entwickelt ist, daß die Lokomotiv- und Wagenlager im durchgehenden Gießbetriebe ausgeschleudert werden können (Abb. 27). Zur zweckentsprechenden Anwendung des Schleuderverfahrens für Lagermetalle wurden mit den verschiedensten Legierungen Untersuchungen über den Einfluß des Schleuderns auf die Gefügeausbildung durchgeführt. Es ist bekannt, daß bei allen Gußlegierungen während der Erstarrung Entmischungen auf-

treten, die durch die verschiedenartige Abkühlung innerhalb eines Gußstückes hervorgerufen werden. Die Lagermetalle mit ihrem heterogenen Aufbau, insbesondere die bleireichen Legierungen, neigen bei langsamer Erstarrung in erhöhtem Maße zur Schichtenbildung. Hinzu tritt beim Schleuderguß die auf das flüssige Metall wirkende Fliehkraft, die die Entmischung wesentlich begünstigt. Werden die spezifischen Gewichte der in den Lagermetallen auftretenden Kristalle berücksichtigt, so sind zwei Gruppen zu unterscheiden: die

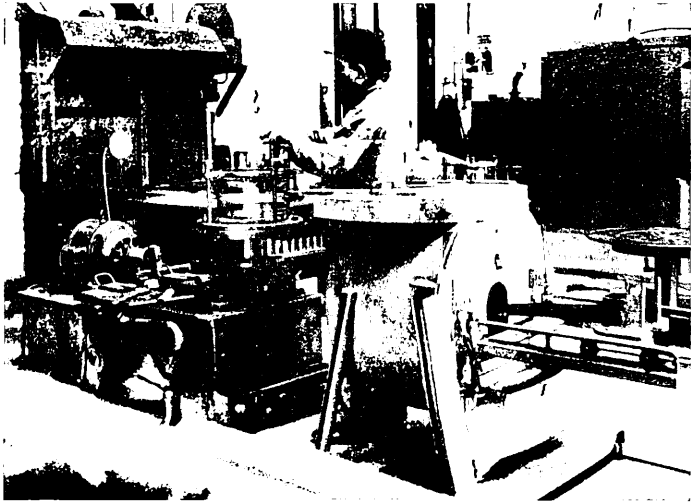


Abb. 27. Schleudergußanlage.

zinnreichen und die bleireichen Metalle. Bei den zinnreichen Lagermetallen sind die zuerst ausscheidenden Härtekörper spezifisch schwerer als die Grundmasse der Legierung, bei den bleireichen Lagermetallen sind die Härtekörper spezifisch leichter als die Grundmasse. Der Unterschied in den spezifischen

Abb. 28. Pb-Sb-Sn-Metall mit  
75% Pb.

Gewichten der Kristallarten ist bei den bleireichen Metallen größer als bei den zinnreichen. Da die beim Schleudern auftretenden Fliehkraft mit der Drehzahl und dem Durchmesser des auszuschleudernden Lagerkörpers wachsen, ist die Entmischung eine Funktion beider Größen. Ebenfalls ist sie abhängig vom Erstarrungsintervall der Legierung, d. h. vom Beginn der Ausscheidung der ersten Kristalle bis zur vollständigen Erstarrung der Schmelze sowie von der Menge des eingeschleuderten Metalls. Die Auswirkungen des Schleuderns auf die sich grund-

sätzlich unterscheidenden hochbleihaltigen und hochzinnhaltigen Lagermetalle wurden untersucht an einem Metall der Pb-Sb-Sn-Gruppe mit 75% Bleigehalt und an dem Weißmetall (W M 80) mit 80% Zinn. Bei dem Bleilagermetall, dessen Gefüge beim Normalguß in Abbildung (Abb. 28) wiedergegeben ist, sind die zuerst erstarrenden  $Cu_2Sb$  und Sb-Sn-Kristalle, die die Härtekörper der Legierung bilden, spezifisch sehr viel leichter als die bleireiche Grundmasse. Beim W M 80 dagegen, sind die zuerst kristallisierenden Cu-Sn- und Sb-Sn-Härtekörper spezifisch schwerer als

die zinnreiche Grundmasse. In den beiden Abbildungen (Abb. 29 und 30) sind Ausschnitte aus zwei verschiedenen Buchsen, die bei 1200 Umdr./Min. mit einer Wandstärke von 12 mm geschleudert sind, gegenübergestellt. In beiden Fällen haben die großen Zentrifugalkräfte und die langsame Erstarrung des verhältnismäßig starken Querschnitts deutlich erkennbare Entmischungen verursacht, wobei sich beim Bleimetall die Härtekörper nach der Drehachse zu, beim W M 80 von der Drehachse weg, angesammelt haben. Eine bedeutende Änderung des Entmischungs-

verhältnisses und der Kristallgröße tritt ein bei der Herabsetzung der Drehzahl auf 600 Umdr./Min. und der Wandstärke der Buchsen auf 6 mm, bei der die Abkühlung wesentlich schneller erfolgt. Das Bleilagermetall zeigt infolge der größeren Unterschiede im spezifischen Gewicht der einzelnen Kristallarten auch bei diesen Drehzahlen eine klare Zonenbildung, während sie beim W M 80 aufgehoben ist. Es ist erklärlich, daß die Brinellhärte bei der starken Entmischung der Bleilagermetalle in den einzelnen Zonen sehr große Streuungen

aufweist, während bei den Zinnmetallen gleichmäßige Härten gemessen werden, die allgemein etwas höher liegen als beim Normalguß. Beim Schleudern von Bleilagermetallen lassen sich daher nur dann genügend harte Lagerausgüsse erzielen, wenn die bearbeiteten Laufflächen in den Bereich der mit Härtekörpern angereicherten Zone zu liegen kommt.

Die angeführten Nachteile treten bei den Metallen auf der Blei-Zinn-Antimon-Grundlage in besonders scharf ausgeprägte Form in Erscheinung. Es ist ferner noch zu erwähnen, daß die Späne dieser Metalle erst nach Umhüttung wiederverwendet werden können, weil ihre Zusammensetzung infolge der Entmischung beim Schleudern nicht mehr der ursprünglichen Metallzusammensetzung entspricht. Nach den bisherigen Erfahrungen haben sich daher diese Metalle für Schleuderguß nicht besonders bewährt.

Wie schon angeführt, konnten mit dem W M 80-Metall günstigere Ergebnisse erzielt werden, wenn auch bei den geschleuderten Ausgüssen in der bisher üblichen Stärke die Ribbildung nicht beseitigt werden konnte. Bei Einhaltung der vorgeschriebenen Gießtemperatur und Anwendung der richtigen Umdrehungszahlen für die Schleudermühle ist die Entmischung beim W M 80 nur sehr gering und so unbedeutend, daß sie praktisch ohne Bedeutung ist. Nach den bisherigen Versuchsergebnissen hat sich daher das W M 80-Metall beim Schleuderguß am günstigsten verhalten und zu keinerlei Anständen Anlaß gegeben. Die Versuche mit geschleuderten

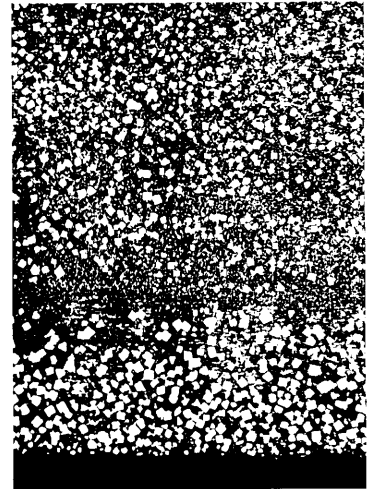
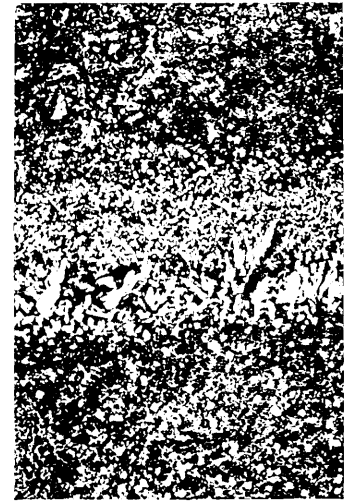


Abb. 29. W M 80-Schleuderguß.

Abb. 30.  
Pb-Sb-Sn-Schleuderguß.



Ausgüssen in der früher üblichen Stärke brachten jedoch die Erkenntnis, daß eine wesentliche Verminderung der Ribbildung nicht erzielt werden kann, wenn der Lagergrundkörper in der bisherigen Umgußschalenform beibehalten wird.

Von Göttingen wurde aus diesem Grunde eine neue Form zur Befestigung des Ausgußmetalls entworfen und im praktischen Betriebe erprobt. Die Erprobung wurde außerdem auch auf künstlich erzeugte Heißläufer im Betriebe ausgedehnt. Die Bewährung war gut. Die Tragfläche des Lagergrundkörpers wird bei der neuen Form mit Gewinde versehen, dessen Spitzen abgeflacht sind. Das Gewinde hat eine keilartige Wirkung, die ein Einpressen des Metalls in die Gewindegänge ermöglicht (Abb. 31). Es vergrößert außerdem die Befestigungsfläche. Bei eventueller Ribbildung ist die Loslösung des Metalls durch die Gewindegänge unterbrochen.

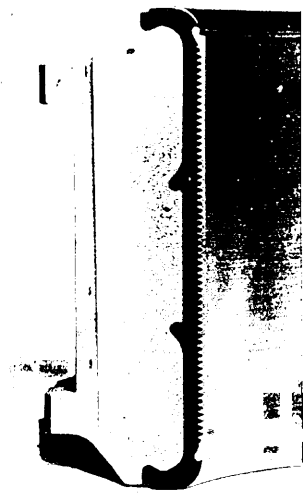


Abb. 31.  
Dünnguß-Verklammerung.

Zur weiteren Befestigung des Ausgußmetalls werden am Anfang der Hohlkehlen je eine radiale und an den Stoßleisten je eine axiale Nute eingedreht, bzw. eingefräßt. Der Bundanlauf wird bei Stangenlagern vom Rotguß aufgenommen, so daß ein Metallaußguß an den Stirnseiten hier nicht mehr erforderlich ist.

Die Ausgußstärke beträgt bei Stangenlagern 1,5 mm und bei Achslagern 2 mm. Die Ausgüsse werden eingelötet. Das Metall wird im Schleudergußverfahren eingebracht. Der Lagergrundkörper ist durch Wegfall der Schwalbenschwanznuten und durch Verringerung des Ausgußquerschnittes verstärkt. Die Befürchtung, daß durch Verschleiß der dünnen Ausgüsse ein Anlauf der Lagergrundkörper eintreten könnte, trifft nicht zu. Der Verschleiß beim WM 80-Metall ist so gering, daß nach den Versuchsergebnissen mit 1 mm starken eingeschleuderten Ausgüssen in Treibstangenlagern der 01, 03 und G 12-Lokomotive nach über 100000 km Laufleistung keine Anstände festgestellt werden konnten. Infolge der geringen Ausgußstärke kann beim Heißlauf kein großes Lagerspiel eintreten.

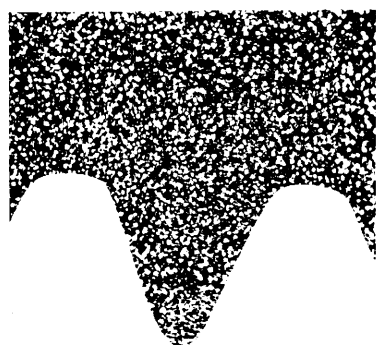


Abb. 32. WM 80-Schleuderguß bei hohen Drehzahlen.

nächsten Bw-Station bringen. Da sich die Gewindegänge in der Tragfläche überschneiden und zum Teil noch vom Metall ausgefüllt sind, tritt eine Beschädigung des Schenkels nicht ein.

Die Anwendung der dünnen Ausgüsse bringt volkswirtschaftlich erhebliche Vorteile. Es werden bei der Einführung 70 bis 80% des hochzinnhaltigen Metalls eingespart.

Ähnliche Entmischungen wie bei den starken Lagerausgüssen ergaben sich auch bei den dünnwandigen Ausgüssen von 3 mm (einschl. Bearbeitungszugabe), wenn zum Schleudern Metalle auf der Pb-Sb-Sn-Basis verwendet wurden.

Trotz guter Verzinnung ist die vollkommene Bindung beim Bleilagermetall schwerer zu erreichen als beim WM 80 wegen der größeren Schwindung und leichteren Oxydation des Metalls. Die unter verschiedenen Drehzahlen und verschiedener Abkühlung hergestellten Ausgüsse zeigen die Abb. 32, 33, 34 und 35. Während beim WM 80 unter denselben Bedingungen eine völlige Gleichmäßigkeit im Gefügaufbau erzielt ist, zeigen besonders die Metalle auf der Pb-Sn-Sb-Basis in den Gewindespitzen die üblichen Bleianreicherungen. Sie treten jedoch bei diesen dünnen Eingüssen weniger nachteilig in Erscheinung, da die Lauffläche nach der Bearbeitung immer in die härtere Tragzone fällt. Zur Erzielung einer möglichst feinen Struktur wird die Schale nach dem Einschleudern sofort gekühlt. Bei einwandfreier Verzinnung der Rotgußkörper ist bei beiden Metallen eine vollkommene Bindung erreicht worden.

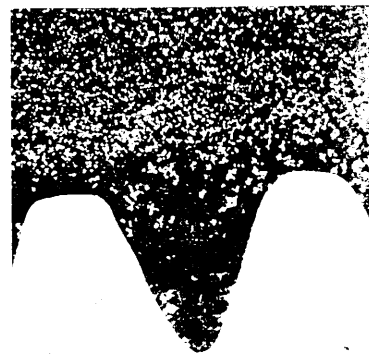


Abb. 33. Pb-Sb-Sn-Schleuderguß bei hohen Drehzahlen.

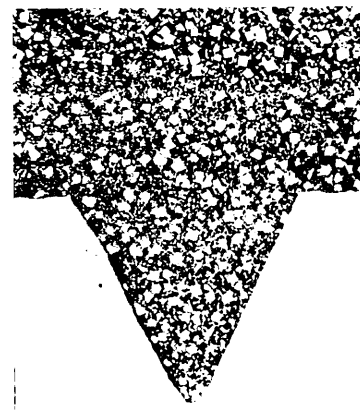


Abb. 34. WM 80-Schleuderguß bei niedrigeren Drehzahlen.

In dem gleichen Bestreben, die Festigkeit des Ausgußmetalls in der Lagergrundschale zu erhöhen, wurden auch vom Ausbesserungswerk Brandenburg-West Versuche mit dem sogenannten Druckgußverfahren vorgenommen.

Das Einbringen von Lageringüssen im Druckguß ist ebenfalls nicht neu, sondern wird schon seit längerer Zeit als sogenannter Spritzguß angewandt. Neu ist bei dem Verfahren, daß der Druck nicht durch einen Kolben, sondern durch ein neutrales Gas erzeugt wird und außerdem die Lager auf dem Bohrwerk ausgegossen und nachgewalzt werden. Ein Urteil über die Bewährung kann vor Abschluß der Vergleichsversuche mit Betriebslagern gegenüber Schleuderguß nicht abgegeben werden.

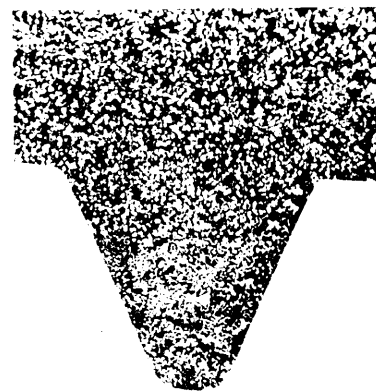


Abb. 35. Pb-Sb-Sn-Schleuderguß bei niedrigeren Drehzahlen.

## XII. Das Dreistofflager.

Gleichzeitig wurde versucht, die Lagergrundkörper so zu verfestigen, daß sie auch den erhöhten Beanspruchungen standhalten. Eine Verringerung der spezifischen Flächendrücke

durch Vergrößerung der Lager und der Lagertragfläche ist konstruktiv nicht mehr möglich. Die Verwendung von festeren Werkstoffen, für deren Herstellung Nickel oder sonstige wertvolle Einfuhrstoffe benötigt werden, ist volkswirtschaftlich z. Z. nicht tragbar. Die Versuche mußten sich daher auf die überwiegende Verwendung von Heimstoffen erstrecken.

Die Bestrebungen zur Schaffung einer festeren Grundschale aus Stahl mit einer Notlaufschicht aus Rotguß gehen zurück auf die vor etwa zehn Jahren geschaffene stahlarmierte



Abb. 36.  
Ofenretorte mit Ölbrenner.

DWV-Lagerschale. Aus den an anderer Stelle dieses Aufsatzes angegebenen Gründen wurde der Gedanke nicht weiter verfolgt.

In den letzten Jahren ist von Göttingen ein Verfahren ausgearbeitet, das zum sogenannten Dreistofflager führte. Die Trennung der einzelnen Stoffe voneinander ist hierbei ohne besondere Schwierigkeiten möglich (Altstoffwirtschaft!). Der Rotguß ist vom Stahl nach Erwärmen auf etwa 800 bis 900° C leicht zu trennen.

Das Dreistofflager besteht aus einer Stahl- oder Stahlgußtragschale mit metallisch verbundener Rotguß- oder Bronzeinlage. Nach

Bearbeitung des Rohlings wird im Schleudergußverfahren eine dünne Lagermetallschicht eingebracht und durch geeignete Vorbehandlung in die Notlaufschicht eingelötet. Das Herstellungsverfahren für die Dreistofflagerschale ist folgendermaßen:

Die innen bearbeitete kalte Stahllagerschale wird mit einem Brei aus Borax, Kochsalz und Flußsand (mit Wasser angerührt)

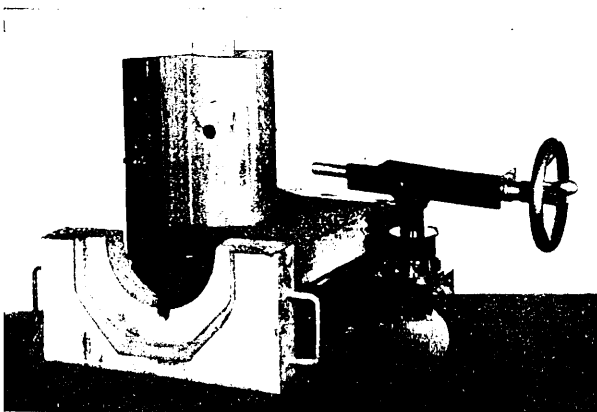


Abb. 37. Gießform ohne eingebaute Lagerschalen.

bestrichen. Der Flußsand kann auch zuletzt trocken auf die breiige Schicht verteilt werden. Durch die Verwendung von Flußsand bleibt die Schutzschicht auch bei hohen Temperaturen besser an der Schalenrundung haften. Nach Trocknen der Schutzschicht (Anwärmen des Stahlkörpers) wird die Schale in eine Ofenretorte geschoben und auf 900 bis 1000° C angewärmt. Die Retorte ist in einen runden Ofen eingebaut. Der Ofen wird mit einem kleinen Ölbrenner geheizt (Abb. 36). (Elektrische Heizung ist gut möglich und bei geringem Strompreis wirtschaftlich.) Das Anwärmen der Schale geht sehr schnell vor sich. Die Retorte besteht aus gewöhnlichem Graphittiegelwerkstoff und ist von großer Haltbarkeit.

Bei Erreichen einer Schalentemperatur von etwa 600° C wird in die Retorte Stickstoff eingeblasen. Durch Schaulöcher kann die Erwärmung der Schale verfolgt und die genaue Temperatur durch ein Pyrometer abgelesen werden. Bei einer Temperatur von 900 bis 1000° C wird die Schale aus dem Ofen gezogen. Die aufgetragene Schutzschicht muß nun mit geeigneten Vorrichtungen (Stahlbürste usw.) entfernt werden. Dann wird mit einem Zerstäuber, der ebenfalls mit Stickstoff betrieben wird, eine neue dünne Schicht Borax aufgedübelt. Die Schale wird nun auf die Form gesetzt und mit Rotguß ausgegossen. Alle Arbeitsgänge müssen selbstverständlich schnell erledigt werden.

Die Form ist aus gewöhnlichem Formsand hergestellt (feuerfester Stoff hat sich nicht als zweckmäßig erwiesen). Der

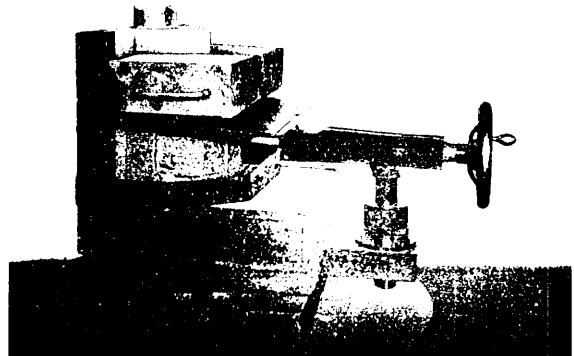


Abb. 38. Gießform mit eingebauten Lagerschalen.

Formkasten steht auf einer Vorrichtung, mit der die Schale auf der eigentlichen Form festgespannt wird (Abb. 37 und 38).

Der Eingußtrichter liegt im Kern und endet in zwei gegabelten Anschnitten, die in der Nähe der Schalenstoßleiste rechts und links in die Schale einmünden. Hierdurch strömt das Metall gleichzeitig an zwei Stellen in die Schale, wodurch die Erwärmung und Verteilung des Metalls gleichmäßig vor sich geht. Der Steigtrichter liegt im Rücken der Schale. Das Metall hat dadurch zwei Strömungskanäle, wodurch eine bessere Bindung erzielt wird. Zweckmäßig ist, soviel Metall durchzugießen, daß der Trichter überläuft. Beim Einschleudern des Lagermetalls wird die Lagerschale auf etwa 180 bis 200° C vorgewärmt, so daß das Lot in teigigem oder soeben fließendem Zustand ist. Nach dem Einschleudern des Metalls wird die Lagerschale von außen mit Wasser und der Ausguß durch Einblasen von Luft abgekühlt. Hierdurch wird eine schnellere Erstarrung des Metalls herbeigeführt.

Über die Bewährung der Dreistofflager im Betriebe kann noch kein Urteil abgegeben werden.

### XIII. Prüfungsmethoden.

#### Prüfung der Lagerschalen.

##### *Biegeversuche.*

Auf die Lebensdauer des Lagerschalenausgusses ist die Festigkeit des Lagerschalenkörpers von ausschlaggebender Bedeutung, da sowohl elastische wie bleibende Formänderungen der Lagerschale vom Ausguß ertragen werden müssen. Als Maßstab für die Festigkeit der Schale dient die beim Biegeversuch ermittelte bleibende Durchbiegung.

Bei der Prüfung wird die Belastung der Schale in der in Abb. 39 gezeigten Anordnung durchgeführt und nach einer Anfangsbelastung von 500 kg um je 500 kg gesteigert. Die Belastungszeit beträgt bei jeder Belastungsstufe eine Minute. Nach einer weiteren Minute wird dann die Zusammendrückung der Schale gemessen. Bei hochwertigen Eingußschalen liegt die bleibende Verformung der Schale nach einer Belastung von 4500 kg unter 0,10 mm.

### Heißlaufversuche.

Die Sicherheit des Betriebes erfordert eine Gleitfähigkeit der Lagerschale in den Fällen, in denen das Lagermetall bereits ausgeschmolzen ist. Diese Notlaufeigenschaft wird geprüft, indem auf dem Rollwerk bei 40 km/h und 7 t/Lager ohne Schmierung gefahren und die Lagertemperatur dauernd beobachtet wird. Der Versuch ist beendet, sobald 700° C erreicht sind. Ausgewertet wird für das Verhalten beim Heißlauf die Zeit bis zur Erreichung der 700°, das Aussehen der Schale und des Schenkels nach dem Versuch, sowie die Abnutzung desselben. In den Heißlaufeigenschaften sind die Rotgußlegierungen den Sonderbronzten im allgemeinen überlegen.

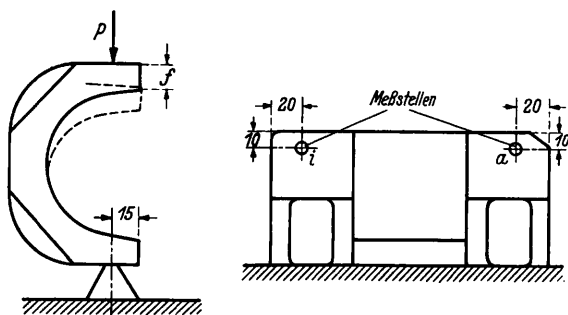


Abb. 39. Biegeversuch bei Lagerschalen.

### Prüfung der Lagermetalle.

Die Prüfung der Lagermetalle erstreckt sich auf gießtechnische, chemisch-metallographische, mechanisch-technologische und laufftechnische Untersuchungen. In diesen vier Hauptgruppen werden ermittelt die Gießtemperatur und Vergießbarkeit, das Schwindmaß, das spezifische Gewicht, die chemische Analyse, der Gefügebau, die Abkühlungskurve, die Härte und Warmhärte, die Biegefestigkeit und bleibende Durchbiegung, die Druckfestigkeit und Stauchfähigkeit, der Verschleiß und die Laufeigenschaften des Metalls. Über den Zweck und die Ausführung dieser Prüfungen wird im folgenden kurz berichtet.

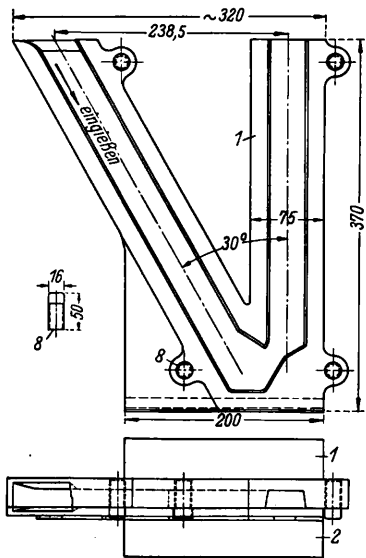


Abb. 40. Prüfkörpergießform.

herausgearbeitet, der nur eine Gießform notwendig macht. Eine erprobte und bewährte Gießform ist die in der Abb. 40 gezeigte V-Stub-Kokille.

### Gießtechnische Untersuchungen.

Maßgebend für die Gießtemperatur ist die Lage des Erstarrungsintervalls. Normalerweise liegt die Gießtemperatur 50 bis 100° C über dem Erstarrungsbeginn. Die Kristalle müssen bei der Gießtemperatur geschmolzen, zumindest darf die Menge der ausgeschiedenen Metalle nur sehr klein sein, andernfalls die Gießbarkeit (Formfüllungsvermögen) sehr leidet. Hohe Gießtemperatur verursacht große Schwindung, großen Wärmeverbrauch und Abbrand. Als Gießtemperatur wird die Temperatur festgelegt, bei der das Gießen von V-Stäben und Lagern einwandfrei möglich ist. Hierbei beträgt die Anwärmtemperatur der Form 150 bis 200° C.

Das Schwinden des Lagermetalls während der Abkühlung beeinflusst den Zustand und die Haltbarkeit des Lagerausgusses sehr erheblich. Das Schwindmaß in Prozent berechnet sich wie folgt: Wärmeausdehnungskoeffizient  $\times$  Erstarrungstemperatur  $\times$  100. Als neuere Einrichtung zur Ermittlung der Ausdehnungskoeffizienten ist das optische Dilatometer gebräuchlich.

Die Kenntnis des spezifischen Gewichts ist erforderlich für die Berechnung des zu einem Ausguß erforderlichen Metalls sowie zur Wirtschaftlichkeitsprüfung.

Die Durchführung der Bestimmung geschieht in der üblichen Weise mit Hilfe der Mohrschen Waage.

### Zusammensetzung und Gefügebau.

Die chemische Analyse dient der Nachprüfung der gleichen Zusammensetzung bei verschiedenen Lieferungen (Abweichungen vom Sollgehalt), der Beurteilung des Preises und dem Studium des zugehörigen Zustandsdiagramms. Sie wird ausgeführt nach den Richtlinien des Chemiker-Fachausschusses der Gesellschaft Deutscher Metallhütten und Bergleute e. V. Berlin.

Die Zusammenhänge zwischen den Gleiteigenschaften und dem Gefügebau eines Lagermetalls sind noch nicht völlig geklärt. Während im allgemeinen Legierungen mit homogenem Aufbau gewünscht sind, wird von den Lagermetallen ein möglichst heterogener Aufbau gefordert. Dadurch, daß in einem Lagermetall mit heterogenem Gefüge eine plastische Grundmasse vorhanden ist, in der härtere Kristalle eingelagert den Druck aufnehmen und durch plastische Verformung der Grundmasse in ihrer Lage ein wenig veränderlich sind, geht das Einlaufen leichter vonstatten als bei homogenen Metallen. Bei einem homogenen Gefüge kann das Einlaufen nur durch Abschleifen unter Entstehung großer Reibungswärme erfolgen, wobei große Neigung zum Fressen besteht.

Der Gefügebau gibt weiter Aufschluß über die vorhandenen Mischkristalle, Verbindungen, Entmischungen, Schlackeneinschlüsse und über die Abkühlungsvorgänge.

Die Abkühlungskurve gibt Aufschluß über Beginn und Ende der Erstarrung und somit über die Größe des Erstarrungsintervalls.

Die Schlichtherstellung und die Aufnahme der Abkühlungskurve erfolgen in der üblichen Weise.

### Mechanisch-technologische Prüfungen.

#### Härte und Warmhärte.

Die Härte bildet kein unbedingt sicheres Kennzeichen für die Brauchbarkeit eines Lagermetalls. Ihr Wert liegt vielmehr darin, daß den einzelnen Lagermetallen besondere Härtegrade eigentümlich sind, bei denen ihre Gleiteigenschaften einen Bestwert besitzen. Deshalb kann die Härteprüfung zu ihrer Kennzeichnung zweckmäßig verwendet werden. Erfahrungsgemäß ist auch die Elastizitätsgrenze und Druckfestigkeit eines Metalls um so höher, je höher seine Härte ist.

Von besonderem Wert ist die Ermittlung der Härte bei höheren Temperaturen, da die Betriebstemperaturen der Lager wesentlich von der Raumtemperatur abweichen.

Die Brinellhärte wird mit den bekannten Prüfmaschinen bestimmt. Bei Raumtemperatur (20° C) werden folgende Versuchsbedingungen angewendet: 10/500/180 für Weichmetalle; 10/1000/30 für Bronzen. Zur Ermittlung der Warmhärte wird der Probestab in einem elektrisch heizbaren Ölbad erwärmt und bei Temperaturen von 50° C, 100° C und 150° C unter den Bedingungen 10/250/180 geprüft.

#### Biegeversuch.

Als Wertmaßstab für Zugfestigkeit und Dehnung dient die Biegekurve. Ist die bleibende Durchbiegung zu groß, dann gibt das Metall zu viel nach und wird seitlich aus dem Lager heraus-

gequetscht. Bei zu geringer Durchbiegung ist das Metall zu spröde, die Lagerausgüsse reißen und bröckeln aus.

#### Die Stauchversuche.

Die statischen und dynamischen Stauchversuche sind ein Maßstab für die Plastizität und Tragfähigkeit des Lagermetalls. Als Druckfestigkeit gilt die Spannung beim Auftreten von Rissen. Alle Spannungen werden auf den ursprünglichen Querschnitt des Probekörpers bezogen. Die Stauchung ist die gemessene Verkürzung nach jeder Belastung in Prozenten. Die übliche Probeform ist der Zylinder, dessen Durchmesser gleich der Höhe ist. Die Last wird in 5 Sekunden aufgebracht, die Probe 15 Sekunden unter Last gelassen, herausgenommen und gemessen. Die Belastungsstufen müssen dem Material angepaßt werden, sie liegen zwischen 100 und 500 kg.

Einen Maßstab für das Verhalten eines Lagermetalls bei Dauerschlagbeanspruchungen bietet der Versuch mit dem Dauerschlagwerk. An Probekörpern von 12 mm Durchmesser und Höhe wird anfangs nach 10 Schlägen, später nach je 20 bis 100 Schlägen die Höhenabnahme gemessen. Der Versuch wird fortgesetzt bis zur Ribbildung und die Schlagzahl in Abhängigkeit von der spezifischen Schlagarbeit im Schaubild aufgetragen (die Schlagarbeit von 12 cm/kg setzt sich zusammen aus 3 cm Höhe und 4 kg Fallgewicht).

#### Der Dauerbiegeversuch.

Da in jedem Lager zusätzliche Biegebeanspruchungen auftreten können, ist die Kenntnis der Biegegewebselfestigkeit von großer Bedeutung. Für Lagermetalle wird die Dauerbiegefestigkeit bei 10 Millionen Lastwechseln bestimmt (siehe Abb.).

#### Verschleißversuche bei Ölschmierung.

Alle Lager, insbesondere Fahrzeuglager, liegen zeitweise im Gebiet der trockenen oder halbtrockenen Reibung und haben einen Verschleiß zur Folge (beim Anfahren, Wechsel der Fahrtrichtung, Versagen der Schmierung usw.). Durch die Verschleißprüfung kann man Voraussagen über das betriebsmäßige Verhalten eines Werkstoffes machen, wenn die Beanspruchungen des Betriebes denen der Prüfung ähnlich sind. Das zu erreichen ist schwer möglich und erklärt auch die Tatsache, daß es bisher noch keinen einheitlichen Maßstab für den Verschleißwiderstand eines Werkstoffes gibt. Die

Annahme, in dem Härtewert des Werkstoffes einen Maßstab für den Abnutzungswiderstand zu besitzen, hat sich als nicht richtig erwiesen.

Von den bekannten Verschleißprüfmaschinen hat sich die bei der Deutschen Reichsbahn gebräuchliche gut bewährt. Vier Versuchslager werden in den zugehörigen Fassungen mit Hilfe der Winkelhebel und der daran hängenden Gewichte wechselseitig gegen die umlaufende Welle gedrückt. Diese Anordnung hat bei gleicher Belastung der einzelnen Lager keine schädliche Wellendurchbiegung zur Folge. Die Welle hat einen Durchmesser von 80 mm, ist wahlweise weich oder gehärtet und geschliffen oder sonstwie poliert (Skleroskophärte = etwa 25 bis 100). Die Umfangsgeschwindigkeit beträgt normal 2.1 m/sec, sie kann durch entsprechende Riemenscheiben bis auf 6 m/sec gesteigert werden. Die Breite der Buchse beträgt 40 bis 60 mm, die Belastung 1400 kg, die Ölluft 0.4 mm. Die Versuchsdauer beträgt bei der 60 mm breiten Buchse 680 Stunden, bei der 40 mm breiten 100 Stunden, Welle und Lager liegen in einem Ölbad von Mineralöl (Flüssigkeitsgrad nach Engler bei  $50^{\circ} = 8-10$ ). Durch die Schmierprobe auf der nicht belasteten Seite des Lagers wird eine ausreichende Schmierung gewährleistet. Die mit Zahlen versehenen Teilstriche bezeichnen die Meßstellen, an denen das Lager vor und nach dem Versuch mit dem Optimeter von Zeiß gemessen wird (Meßgenauigkeit 0.001 mm; bis 0.0001 mm werden noch geschätzt). Mit dem gleichen Gerät wird auch der Verschleiß der Welle festgelegt. Um Fehler durch Temperaturschwankungen zu vermeiden, wird außer den Meßstellen in der Lauffläche ein nicht dem Verschleiß unterliegender Querschnitt festgelegt. Ergeben sich vor und nach dem Versuch Unterschiede in dieser Meßstelle, so werden alle anderen Messungen danach korrigiert.

Die Unterschiede in den Messungen der Buchse und der Welle ergeben den Verschleiß.

#### Lauftechnische Untersuchungen.

Die Laufeigenschaften der Metalle wurden, wie bereits im Anfang des Aufsatzes beschrieben, auf dem Rollwerk und der Reibungswaage geprüft. Um die Vergleichsfähigkeit der Versuchsergebnisse zu sichern, wird stets der gleiche Versuchsplan angewendet.

## Bücherschau.

Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch, 26. neubearbeitete Auflage, 4. Band, Berlin 1935. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn. 1054 Seiten. Preis in Leinen geb. *RM* 16,50, in Leder *RM* 19,50.

Der vierte Band der „Hütte“ enthält im Anschluß an den dritten, der mit dem Abschnitt „Eisenbahnwesen“ abschließt, die übrigen Gebiete der Verkehrstechnik: Schiffbau, Automobilbau und Luftfahrzeuge und eine klar gegliederte Einzeldarstellung der wichtigsten Gebiete der Urproduktion und der industriellen Technik, die für unsere nationale Wirtschaft besonders wichtig sind: die Bergbau- und Tiefbohrtechnik, die Land- und Forstwirtschaftstechnik, die Hilfsmaschinen und Einrichtungen der verarbeitenden Industrie, der Nahrungsmitteltechnik, der Leder- und Faserstofftechnik, der keramischen, Gas- und Ofentechnik, der graphischen und Büromaschinenteknik, der zu immer größerer Bedeutung gelangenden Feinmechanik, der photographischen, Kino- und Radiotechnik und endlich des Feuerlöschwesens.

Schon diese gedrängte Inhaltsübersicht zeigt, daß die „Hütte“ immer stärker bestrebt ist, ein umfassendes Handbuch des Ingenieurs zu werden, welches unter Weglassung der geschichtlichen Entwicklung und lehrhafter Erörterungen in allen Fragen, die unser immer weiter gespannter Beruf stellen kann, die neuesten

Erkenntnisse zu vermitteln vermag und zur weiteren Vertiefung in ein bestimmtes Sondergebiet auf Grund der mit Recht ausführlich angegebenen neueren Literatur behilflich sein will. Trotz der sehr großen Zahl der Bearbeiter — über fünfzig — ist es gelungen, die einzelnen Gebiete unter einheitlichen Gesichtspunkten zu ordnen und zu behandeln.

Von den Sondergebieten, die dem Leserkreis des „Organ“ nahe stehen, seien besonders genannt der Binnenschiffbau, der mehrere bedeutende maschinentechnische Neuerungen aufweist, der Automobilbau, dem künftig etwas mehr Raum zugebilligt werden könnte zur Behandlung der Einzelrad-Aufhängung der Geländegängigkeit und der Räder-Raupen-Fahrzeuge, die Gastechnik mit den sehr wichtigen Ausführungen über Ver- und Entgasung der Brennstoffe, der sehr bemerkenswerte Abschnitt über Feinmechanik und das wenn auch sehr gedrängte, so doch bestens gelungene Kapitel über die Feuerlöschtechnik. Das sicher von manchem erwartete Gebiet „Luftschutz“ härt noch der Bearbeitung.

Die Hütte hat mit ihrer 26. Auflage ihr Ziel, dem deutschen technischen Schaffen ein zuverlässiges Hilfsmittel zu sein, sicherlich wieder erreicht. Prof. Georg Lotter, Breslau.

*Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder angezeigten Bücher sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen.*

Der Wiederabdruck der in dem „Organ“ enthaltenen Originalaufsätze oder des Berichtes, mit oder ohne Quellenangabe, ist ohne Genehmigung des Verfassers, des Verlages und Herausgebers nicht erlaubt und wird als Nachdruck verfolgt.