WERKSTATTBÜCHER
HERAUSGEBER H. HAAKE

HEFT 29

W. JÜRGENSMEYER

EINBAU UND WARTUNG DER WÄLZLAGER

VERLAG JULIUS SPRINGER BERLIN

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. H. HAAKE VDI

Jedes Heft 50—70 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen
Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1931 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß)
Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50

Die Werkstattbücher behandeln das Gesamtgebiet der Werkstattstechnik in kurzen selbständigen Einzeldarstellungen; anerkannte Fachleute und tüchtige Praktiker bieten hier das Beste aus ihrem Arbeitsfeld, um ihre Fachgenossen schnell und gründlich in die Betriebspraxis einzuführen.

Die Werkstattbücher stehen wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe, sind dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich, so daß alle im Betrieb und auch im Büro Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Facharbeiter bis zum leitenden Ingenieur, Nutzen aus ihnen ziehen können.

Indem die Sammlung so den einzelnen zu fördern sucht, wird sie dem Betrieb als Ganzem nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten

I. Werkstoffe, Hilfsstoffe, Hilfsverfahren

	Heft
Das Gußeisen. 2. Aufl. Von Chr. Gilles	19
Einwandfreier Formguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	30
Stahl- und Temperguß. Von E. Kothny	24
Die Baustähle für den Maschinen- und Fahrzeugbau. Von K. Krekeler	75
Die Werkzeugstähle. Von H. Herbers	50
Nichteisenmetalle I (Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß). Von R. Hinzmann	45
Nichteisenmetalle II (Leichtmetalle). Von R. Hinzmann	53
Härten und Vergüten des Stahles. 4. Aufl. Von H. Herbers	7
Elektrowärme in der Eisen- und Metallindustrie. Von O. Wundram	69
Die Brennstoffe. Von E. Kothny	32
Öl im Betrieb. Von K. Krekeler	48
Farbspritzen. Von R. Klose	49
Rezepte für die Werkstatt. 3. Aufl. Von F. Spitzer	9

II. Spangebende Formung

Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe. Von K. Krekeler	61
Hartmetalle in der Werkstatt. Von F. W. Leier	62
Gewindeschneiden. 3. Aufl. Von O. M. Müller	1
Wechselräderberechnung für Drehbänke. 3. Aufl. Von G. Knappe	4
Bohren. 2. Aufl. Von J. Dinnebier und H. J. Stoewer	15
Senken und Reiben. 2. Aufl. Von J. Dinnebier	16
Räumen. Von L. Knoll	26
Das Sägen der Metalle. Von H. Hollaender	40
Die Fräser. 2. Aufl. Von P. Zieting und E. Brödner	22
Das Einrichten von Automaten I (Die Automaten System Spencer und Brown & Sharpe). Von K. Sachse	21
Das Einrichten von Automaten II (Die Automaten System Gridley [Einspindel] und Cleveland und die Offenbacher Automaten). Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil	23
Das Einrichten von Automaten III (Die Mehrspindel-Automaten, Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe). Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil	27
Das Einrichten von Halbautomaten. Von J. v. Himbergen, A. Bleckmann, A. Wassmuth	36
Die wirtschaftliche Verwendung der Mehrspindelautomaten. Von H. Finkelnburg	71

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE UND FACHARBEITER. HERAUSGEBER DR.-ING. H. HAAKE VDI
HEFT 29

Einbau und Wartung der Wälzlager

Von

Wilhelm Jürgensmeyer
Schweinfurt

Mit 102 Abbildungen, 2 Tafeln und
6 Tabellen im Text

Berlin
Verlag von Julius Springer
1939

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Benennung der Wälzlager (Tafel I) 3
Benennung der Wälzlagerteile (Tafel II) 4

I. Beschaffenheit der Sitz- und Stützflächen 5

A. Einleitung 5
B. Maßgenauigkeit der Sitzflächen 5
C. Rauhigkeit der Sitzflächen 9
D. Formgenauigkeit der Sitzflächen 11
E. Lagegenauigkeit der Sitz- und Stützflächen 13

II. Prüfen der Sitzflächen 14

A. Einleitung 14
B. Meßfehler 15
1. Fehler der Meßgeräte S. 15. — 2. Fehler durch unzulässige Abnutzung der Lehren S. 15. — 3. Fehler durch die Meßkraft S. 16. — 4. Fehler durch Temperaturunterschiede S. 17. — 5. Fehler durch Maßübertragung, Ablesung und persönliche Einflüsse S. 17. — 6. ISA-Grundsätze I, II und III S. 18.
C. Meßmittel 19
1. Feste Lehren S. 19. — 2. Schraublehren S. 22. — 3. Zeigergeräte S. 23.

III. Ein- und Ausbau der Wälzlager 23

A. Vorbereitende Arbeiten 23
B. Arbeiten beim Ein- und Ausbauen 25
1. Ein- und Ausbauen von geschlossenen Querlagern mit zylindrischer Bohrung und Festsitz der Innenringe S. 25. — 2. Ein- und Ausbauen von Querlagern mit Spannhülsen S. 31. — 3. Ein- und Ausbauen von Querlagern mit Abziehhülsen S. 34. — 4. Ein- und Ausbauen von Querlagern auf kegeliger Wellensitzfläche S. 37. — 5. Einbauen von Längslagern S. 41.
C. Schmierung 42
D. Laufprüfung 43

IV. Wartung der Wälzlager 44

A. Aufgabe der Wartung 44
B. Überwachen der Lager 45
C. Nachschmieren und Reinigen der Lager 46
D. Lagerschäden und ihre Ursachen 50
Einleitung S. 50. — 1. Schälung S. 50. — 2. Verschleiß S. 54. — 3. Stromdurchgang S. 58. — 4. Risse S. 59. — 5. Rost — Reibrost S. 64. — 6. Freßspuren — Anschmieren S. 63. — Instandsetzen S. 64.

Hauptmaße 65

Hauptmaße der Querlager (Tabelle 5) 66
Hauptmaße der Längslager (Tabelle 6) 68

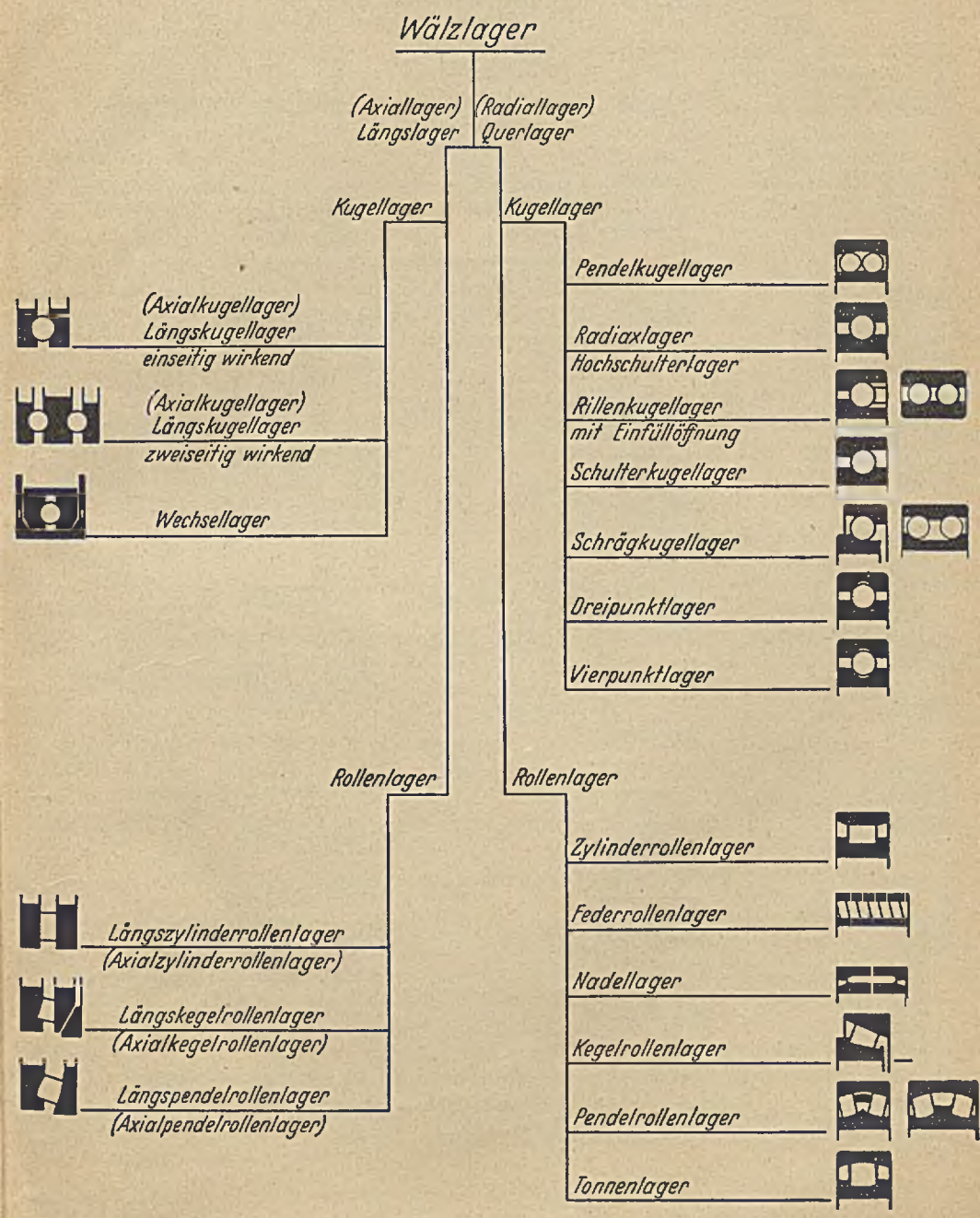
POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA GLIWICE

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Printed in Germany.

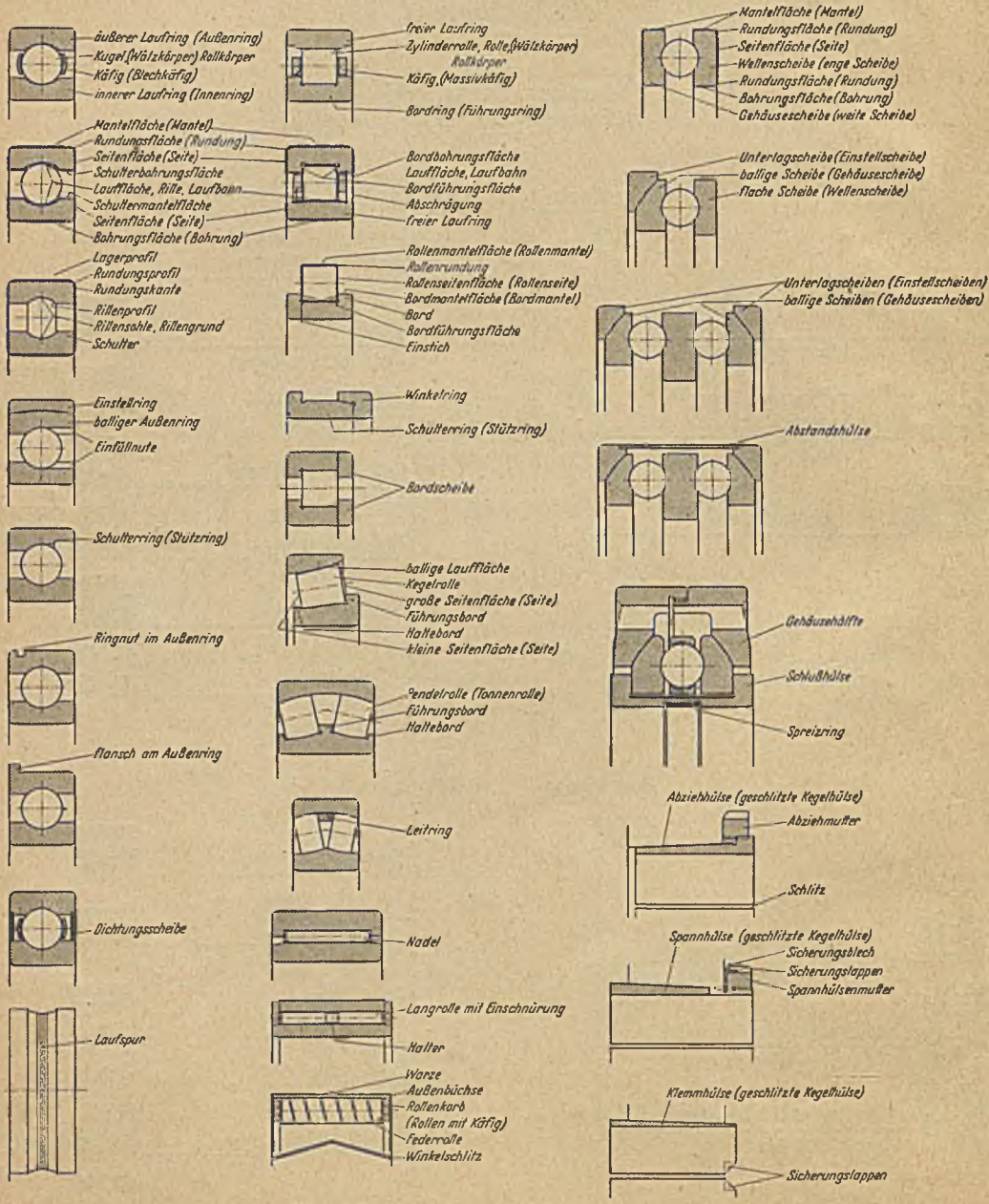
121663

D 276/08

Tafel I. Benennung der Wälzlager.



Tafel II. Benennung der Wälzlagerteile.



I. Beschaffenheit der Sitz- und Stützflächen.

A. Einleitung.

Es ist eine der wichtigsten Aufgaben des Betriebsmannes, bei der Herstellung und dem Zusammenbau der Teile einer Maschine dem auf der Zeichnung dargestellten Idealzustand so weit wie möglich nahezukommen. Nur wenn die Ausführung den Annahmen und Vorschriften des Konstrukteurs entspricht, kann die beabsichtigte Wirkung und berechnete Lebensdauer wirklich erreicht werden.

Die zylindrischen Sitzflächen und ebenen Stützflächen auf der Welle und im Gehäuse, die zur Aufnahme von Wälzlagern dienen, erfordern ganz besonders große Sorgfalt sowohl hinsichtlich der Toleranzhaltigkeit und Oberflächenrauhigkeit als auch in bezug auf ihre Form- und Lagegenauigkeit Wenn die notwendige Austauschbarkeit gewährleistet sein soll, ohne daß sich zu großes oder zu kleines Spiel oder Übermaß ergibt, dann dürfen gewisse Toleranzen nicht überschritten werden. Auch mit Rücksicht auf eine möglichst hohe Betriebssicherheit sollen die Istabmaße und die sich daraus ergebenden Passungen der Laufringe innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen liegen. Der wünschenswerte Sitz bleibt aber nur erhalten, wenn die Rauhigkeit der Paßflächen so gering ist, daß sie im Betrieb keine wesentlichen Veränderungen erfährt. Die theoretisch gegebene Tragfähigkeit eines Wälzlagers und die geringste Reibung können in der Praxis nur dann erreicht werden, wenn nicht nur die Formgenauigkeit der Lagerteile, sondern auch die der Sitzflächen auf der Welle und im Gehäuse dem Idealzustand möglichst nahekommt. Man darf nie vergessen, daß sich die Laufringe der Wälzlager wegen ihrer geringen Eigensteifigkeit der Form der zugehörigen Paßflächen fast vollkommen anpassen. Von ebenso großer Bedeutung sind die Abweichungen von der theoretisch richtigen Lage der ebenen seitlichen Stützflächen und der zylindrischen Sitzflächen zweier Lagerstellen zueinander. Diese Fehler können entweder bei der Bearbeitung und Montage oder durch Wellenbiegungen, durch Federung der Gehäuse und nachträglichen Versatz entstehen. Sie verschlechtern nicht nur die Laufeigenschaften der Lager durch Geräuschbildung, sondern gefährden auch die Betriebssicherheit durch Überbeanspruchung des Käfigs und der Laufbahnen.

B. Maßgenauigkeit der Sitzflächen.

Die Bearbeitung der Sitzflächen von Wellen oder Gehäusen erfolgt in fast allen Werkstätten nach den Richtlinien des ISA-Passungssystems, bei dem die Toleranzen für ein bestimmtes Nennmaß nach ihrer Größe und Lage gestuft sind. Es ist die Aufgabe der Werkstatt, dafür zu sorgen, daß die sich aus dem Nennmaß und den Grenzabmaßen ergebenden Grenzmaße nicht unter- oder überschritten werden. Je nach der Lage und Größe der „Maßtoleranzen“ der zu verbindenden Werkstücke ergibt sich entweder ein größtes und kleinstes Übermaß, Übermaß und Luft oder eine größte und kleinste Luft. Die Größe dieser Schwankung der Passung, die sog. „Paßtoleranz“, ist gleich der Summe der „Maßtoleranzen.“

Da eine gewisse Toleranz bei der Herstellung gleicher Stücke nicht zu vermeiden ist, muß man auch eine gewisse Schwankung des Sitzcharakters in Kauf nehmen. Es wäre aber falsch, wenn man die Zweckmäßigkeit einer Passung nach

den äußersten Grenzfällen beurteilen würde. Hierbei muß vielmehr die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Grenzfälle und damit die „Streuung der Istabmaße" innerhalb der Maßtoleranz und die „Streuung der Sitze" bei zufälligem Zusammentreffen irgendwelcher Stücke beachtet werden. Im folgenden soll durch einige Beispiele die Bedeutung der „Streuung" für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Grenzfälle klargestellt werden[1].

In den folgenden graphischen Darstellungen ist die Toleranz auf der Abszisse aufgetragen und in 1 μ unterteilt. Die Höhe des Rechtecks über jedem Toleranzteil von 1 μ ist ein Maßstab für die Anzahl der Stücke, die in den betreffenden Bereich fallen; die Höhe der Ordinate für ein bestimmtes Spiel oder Übermaß ist der Maßstab für die Anzahl der Sitze gleicher Art. Die Streuung wird naturgemäß um so besser erkennbar, je feiner die Toleranz unterteilt wird. Für diese Untersuchungen wurde 1 μ zugrunde gelegt, da die Streuung aus der gewählten Darstellung deutlich genug erkennbar wird und eine höhere Maßgenauigkeit bei den für die Prüfung von Wälzlagern und Sitzflächen üblichen Verfahren nicht zu erreichen ist.

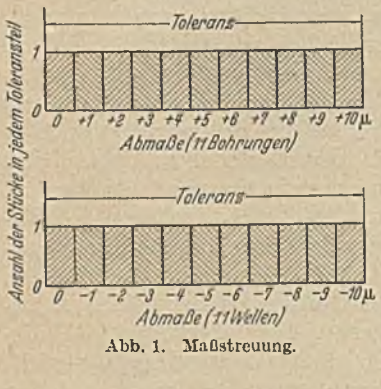


Abb. 1. Maßstreuung.

Zunächst sei als einfachster Fall angenommen, daß die Istabmaße der Bohrungen von 11 Ringen und die der Durchmesser von 11 Wellen entsprechend Abb. 1 in dem Toleranzgebiet verteilt liegen. Auf jedes Toleranzteil von 1 μ entfällt also ein Stück. Die Maßstreuung wird durch eine gerade Linie (Streulinie) dargestellt. Wenn nun die einzelnen Bohrungen und Wellen beliebig gepaart werden, dann ergibt sich nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung die in Abb. 2 dargestellte „Streulinie der Sitze" (Spiele oder Übermaße). Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Grenzfall vorkommt, ist $1:n$, die Wahrscheinlichkeit für das gleichzeitige Zusammentreffen zweier Grenzfälle ist $1:n\,(n-1)$. Bei der in Abb. 1 angenommenen Streuung ergibt sich also für einen Grenzfall die Wahrscheinlichkeit 1 : 11 und für beide gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit 1 : 110. Die graphische Darstellung der Abb. 2 zeigt, daß die Grenzfälle mit einem Spiel von 0 μ und 20 μ verhältnismäßig selten vorkommen, während das Spiel mittlerer Größe 11 mal so häufig auftritt, trotzdem eine sehr ungünstige Maßstreuung zugrunde gelegt wurde.

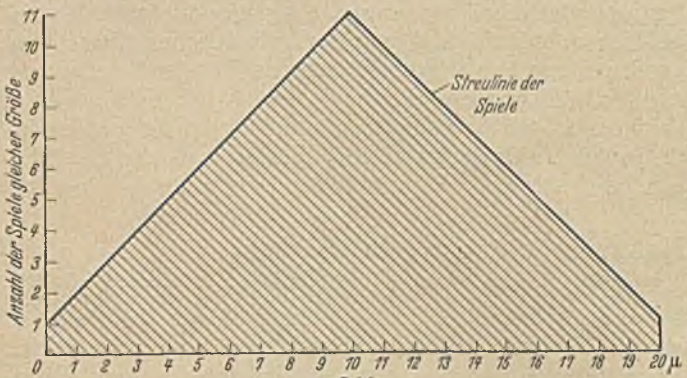


Abb. 2. Streuung der Spiele.

Wenn eine Maßstreuung für Bohrung und Mantel nach Abb. 3 angenommen wird, kommen die Verhältnisse der wirklichen Streuung bei Massenfertigung schon viel näher. Dann ist nämlich die Wahrscheinlichkeit für das

[1] Die folgende Darstellung ist den Hausmitteilungen der Vereinigten Kugellagerfabriken AG. Schweinfurt entnommen.

Zustandekommen eines Spiels mittlerer Größe 146mal so groß wie für einen Grenzfall (Abb. 4).

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Grenzfälle wird aber noch geringer, wenn die in der Praxis bei Massenfertigung wirklich vorkommende Maßstreuung zugrunde gelegt wird. Abb. 5 zeigt das Ergebnis der Prüfung von 500 Bohrungen und 500 Wellen und die mengenmäßige Verteilung in dem Tole-

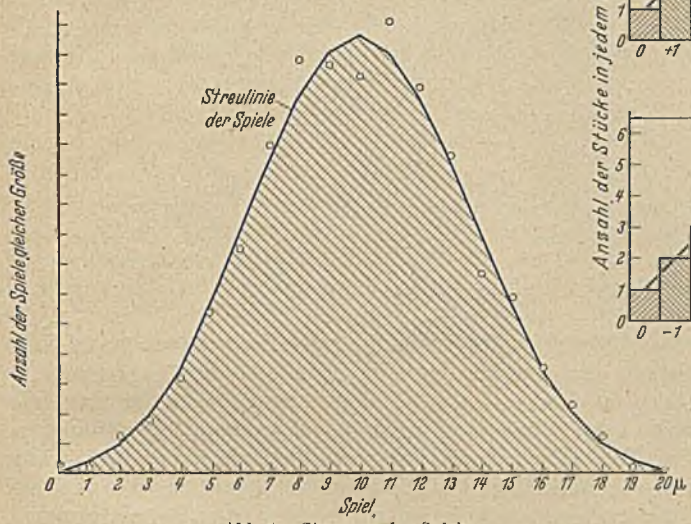


Abb. 4. Streuung der Spiele.

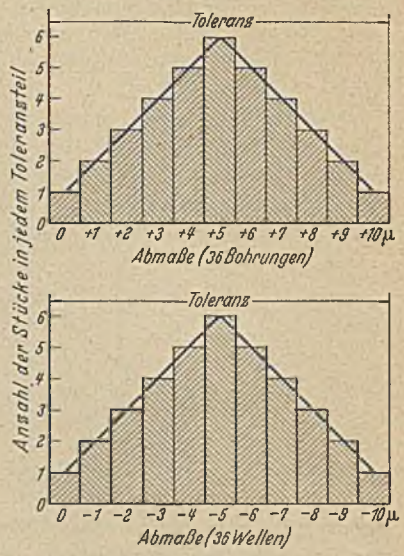


Abb. 3. Maßstreuung.

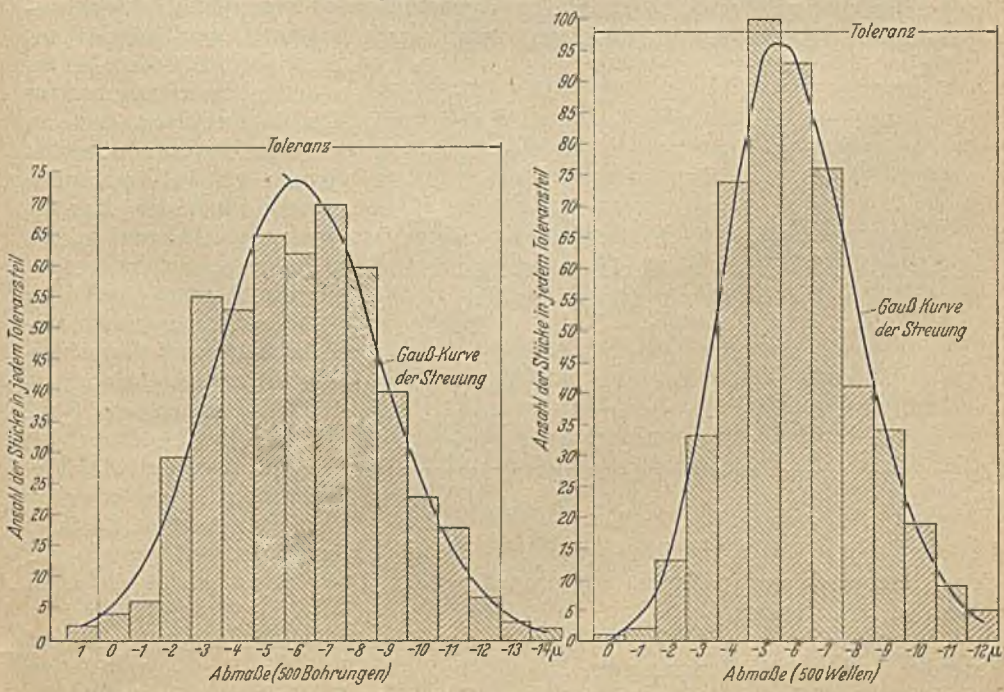


Abb. 5. Maßstreuung.

ranzgebiet. Die Streuung der Sitze bei beliebigem Austausch geht aus Abb. 6 hervor. Bei dieser Streuung ist die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen eines

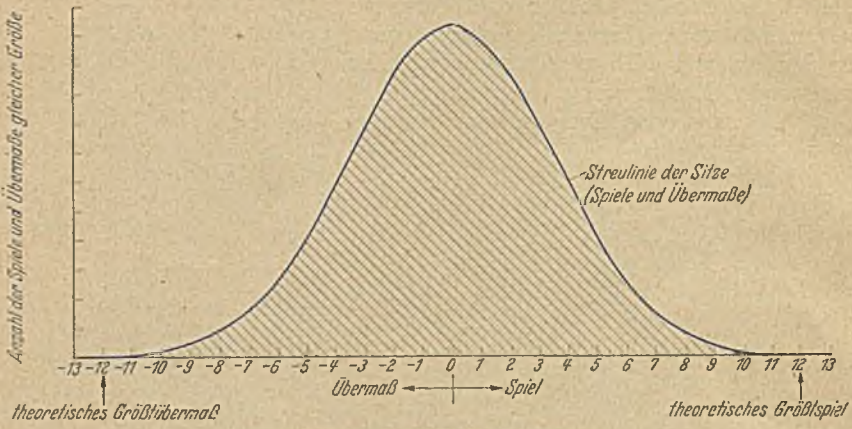


Abb. 6. Streuung der Spiele.

Spiels mittlerer Größe etwa 730mal so groß wie für einen der Grenzfälle. 94,3 % der Sitze umfassen nur den halben Bereich der möglichen Streuung.

Bei beliebigem Austausch der Teile ist also die Wahrscheinlichkeit für das Zusammentreffen der Grenzfälle sehr gering, und zwar um so geringer, je größer die Anzahl der Stücke ist. Eine Toleranzeinschränkung mit Rücksicht auf die Grenzfälle bedeutet daher eine äußerst unwirtschaftliche Maßnahme.

Um eine Passung richtig zu beurteilen, ist es am besten, praktische Übungen mit einer genügend großen Anzahl von Werkstücken oder zu diesem Zweck angeschaffter Übungssätze vorzunehmen, deren Formgenauigkeit und Oberflächenrauhigkeit mit den Werkstücken übereinstimmt. Das Gefühl vermittelt erst die richtige Kenntnis über das Wesen eines Sitzes. Die Betrachtung der Zahlenwerte der Toleranz allein ohne diese Erfahrung genügt nicht.

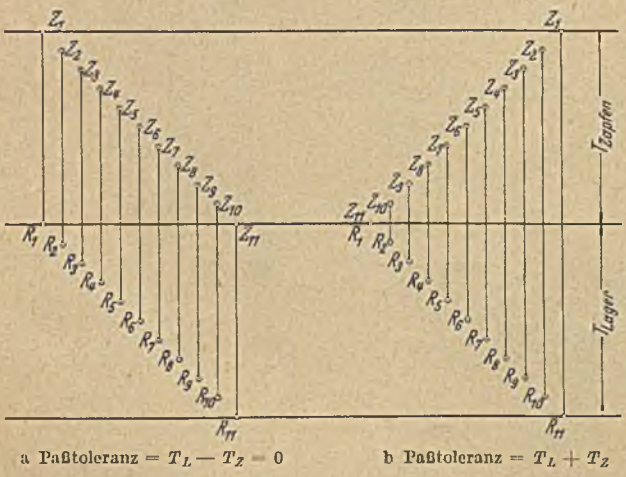


Abb. 7. Paßtoleranz beim Zusammensuchen der einzelnen Teile.

Wenn aber die Grenzfälle unbedingt vermieden werden müssen, dann ist im allgemeinen ein Aussuchen in 2 oder mehr Gruppen zweckmäßig. Dabei kann man offenbar den günstigsten Zustand erreichen, wenn jedes Lager dem entsprechenden Zapfen zugeordnet wird. Dies ist an einem einfachen Beispiel zu erkennen.

Angenommen, es seien 11 Lager vorhanden, die mit 11 Sitzflächen kombiniert werden sollen. Die Streuung sei die gleiche (Abb. 7). Die Zapfen und Lager sind mit den Ziffern 1 ··· 11 gekennzeichnet. Das Lager R_1 werde mit dem Zapfen Z_1,

das Lager R_2 mit dem Zapfen Z_2 kombiniert usw. Es ergibt sich in allen Fällen das gleiche Übermaß oder die gleiche Luft. Die Paßtoleranz ist = 0. Bei einer Kombination von Z_1 mit R_{11} bis Z_{11} mit R_1, wie auf der rechten Seite dargestellt, beträgt die Paßtoleranz dagegen die Summe der Maßtoleranzen.

Es ist klar, daß das Aussuchen immer in einem für die Paßtoleranz günstigen Sinne vorgenommen werden kann. Wenn man glaubt, eine gewisse Paßtoleranz nicht überschreiten zu können, wird man am einfachsten zum Ziel kommen, wenn das gesamte Toleranzgebiet aufgelöst wird in einen Bereich mit beliebigem Austausch und ein anderes Gebiet, in welchem die Teile zusammengesucht werden (Abb. 8). Es werde angenommen, daß die Lager der Gebiete *1* und *I* beliebig gepaßt werden, während für die anderen Gebiete insofern ein Zusammensuchen stattfindet, als Gebiet *III* mit *3* und *II* mit *2* gepaart werden. Dann wird die Paßtoleranz von $T_{Z_1} + T_{L_1}$ bestimmt nicht überschritten. Man kann aber auch entsprechend Abb. 8b in Gruppen unterteilen und innerhalb der Gruppen beliebig zusammensetzen. Die Paßtoleranz ist dann $T_{Z_1} + T_{L_1}$ bzw. $T_{Z_2} + T_{L_2}$.

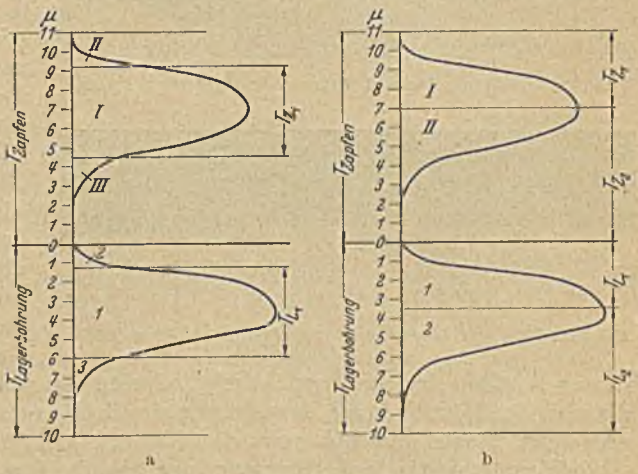


Abb. 8. Paßtoleranz bei Unterteilung der Toleranz in Gruppen.
a Zusammensuchen an der Gutseite und Ausschußseite, b beliebiger Austausch in jeder Gruppe.

Bei diesen Überlegungen darf nicht vergessen werden, daß das Zusammensuchen zwecks Erzielung einer sehr kleinen Paßtoleranz nur dann aufgeht, d. h. nur dann für jeden Zapfen ein entsprechendes Lager vorhanden ist, wenn die Maßstreuung beider Werkstücke genau gleich ist. Aus diesem Grunde wäre es geradezu widersinnig, die Toleranz des einen Teiles kleiner zu machen als die des anderen Teiles. Trotzdem läuft man Gefahr, daß das Zusammensuchen nicht wie gewünscht aufgeht, vor allen Dingen, wenn zu geringe Mengen zur Verfügung stehen. Die Forderung, für die restlichen Stücke passende Lager zu erhalten, bedeutet aber nichts anderes als eine wesentliche Toleranzverkleinerung.

Von manchen Abnehmern wird darüber Klage geführt, daß die Lager der einen Firma mehr am oberen Grenzabmaß liegen, die der anderen dagegen mehr am unteren Grenzabmaß, und der Wunsch nach einer Vereinheitlichung ausgesprochen. Auch eine solche Forderung ist nicht ohne wesentliche Mehrkosten zu erfüllen. *Eine Vorschrift über die Streuung, gleich welcher Art, ist immer gleichbedeutend mit einer Toleranzeinschränkung.*

C. Rauhigkeit der Sitzflächen.

Wenn die wünschenswerte Passung auf die Dauer erhalten bleiben soll, ist es notwendig, daß mindestens eine dem Schliff des Lagers gleichwertige Oberflächenbeschaffenheit erzielt wird. Bei gedrehten Wellen ist die Rauhigkeit im allgemeinen zu groß, da der Stahl Riefen in Gestalt eines mehr oder weniger

feinen Gewindes erzeugt. Die gewöhnlich gedrehte Fläche zeigt bei einer Vergrößerung von 1 : 200 ein Profil entsprechend Abb. 9a.

Für eine bestimmte Pressung ist bei einer sehr rauhen Oberfläche entsprechend Abb. 9a ein größeres Übermaß erforderlich als bei einer glatten Oberfläche entsprechend Abb. 9b. Bei Bewegungssitzen hat die Rauhigkeit die gleiche Bedeutung wie bei Ruhesitzen, wenn eine gute Passung und eine möglichst geringe Abnutzung erreicht werden soll.

Abb. 9a. Profil der Längsschnittkante einer gedrehten Fläche.

Abb. 9b. Profil der Längsschnittkante einer geschliffenen Fläche.

Schon bei dem Einbau der Lager werden die Kuppen platt gedrückt, so daß der etwa bei der Kontrolle mit Rachenlehren festgestellte Durchmesser in Wirklichkeit nicht mehr vorhanden ist. Die Welle besitzt also tatsächlich nicht das in Rechnung gesetzte Übermaß. Ein Lockern der Laufringe ist leicht möglich, vor allen Dingen, wenn das Istabmaß an der unteren Grenze der Toleranz liegt. Dieser Zustand ist auch gefährlich bei einer an sich zulässigen losen Passung, die aber im Betrieb keine Erweiterung des Spiels erfahren darf. Wenn bei einer gedrehten Fläche zunächst nur die Kuppen als Auflage dienen, dann ist eine schnell fortschreitende Verformung und damit eine unzulässige Vergrößerung der Luft bestimmt zu erwarten. Besonders bei stoßweiser Belastung ist daher auf die Oberflächenbeschaffenheit großer Wert zu legen.

Die Rauhigkeit hat bei den Gehäusesitzflächen die gleiche Bedeutung wie bei den Sitzflächen der Welle. Infolge des größeren Umfanges ist die spezifische Belastung geringer, die Luft der lose sitzenden Außenringe ist aber im allgemeinen größer. Die Verformung in der Breite des Außenringes bedeutet eine große Gefahr, weil sich der Ring festsetzen kann und dann die etwa durch die Wärmedehnung hervorgerufene axiale Beanspruchung in voller Höhe von dem Lager aufgenommen werden muß.

Das in manchen Werkstätten benutzte Mittel der Aufrauhung der Sitzflächen durch Körnerschläge oder Ränderieren bedeutet eine große Gefahr für die Tragfähigkeit des Lagers. Außerdem wird eine schnelle Lockerung und ein starker Verschleiß des Ringes hervorgerufen. Grundsätzlich sollte daher in allen Fällen, wo die Toleranz der Sitzfläche entweder bei der Bearbeitung oder durch vorhergegangenen Verschleiß unterschritten ist, ein Nachschleifen der Sitzfläche erfolgen. Damit eine gewisse Einheitlichkeit erzielt wird, ist zu empfehlen, als Zwischenstufe ein Maß mit der Endziffer 8 oder 3 zu wählen. Noch günstiger ist es natürlich, vor allen Dingen im Interesse des Besitzers der Maschine oder des Fahrzeuges, wenn auf die Verwendung nichtmaßhaltiger Wellen überhaupt verzichtet wird.

Bei großen Lagern kann es allerdings wirtschaftlich sein, nach Mitteln und Wegen zu suchen, um die Welle oder Walze wieder verwendungsfähig zu machen. Es gibt heute mehrere Verfahren, mit denen auch ganz dünne Schichten aufgetragen werden können und eine gute Verbindung des alten und neuen Materials

erzielt wird. Ein Aufschweißen von Material ist meistens bedenklich, vor allen Dingen, wenn der normale Durchmesser der Welle bereits bis zur zulässigen Grenze beansprucht ist. Bei geringen Fehlern kann im Notfall durch Verchromen oder Verzinnen eine Verengung oder Vergrößerung erzielt werden. Dieses Verfahren ist aber nur bei großen Lagern wirtschaftlich.

D. Formgenauigkeit der Sitzflächen.

Über die Formgenauigkeit irgendeines Maschinenteils werden von seiten des Konstrukteurs leider in den meisten Fällen keine Angaben gemacht; man begnügt sich im allgemeinen damit, für die zu bearbeitenden Flächen an irgendeiner Stelle einen Durchmesser mit den Grenzabmaßen einzutragen. Auch im Betrieb wird oft übersehen, daß man zu einer ganz falschen Beurteilung einer Passung kommen kann, wenn man die Prüfung z. B. einer Zylinderfläche auf die Feststellung der Toleranzhaltigkeit an irgendeiner Stelle beschränkt. Mit Rücksicht auf einen möglichst leichten und gleichmäßigen Lauf sowie eine lange Lebensdauer und hohe Betriebssicherheit der Wälzlager muß bei der Bearbeitung der Teile dafür gesorgt werden, daß nicht nur an keiner Stelle die vorgeschriebene Toleranz überschritten wird, sondern auch die Abweichungen von der Formgenauigkeit so klein gehalten werden, wie es für die jeweiligen Betriebsbedingungen erforderlich ist. In der Abb. 10 sind die möglichen Fehler schematisch dargestellt. Die Abb. a und b zeigen die Unrundheit; ein Schnitt senkrecht zur Achse ergibt keinen Kreis, sondern eine Ellipse oder eine andere Verzerrung z. B. ein Gleichdick. Die Fig. c läßt erkennen, daß zwei gegenüberliegende Mantellinien nicht parallel zur Achse liegen, die Sitzfläche der Welle ist kegelig. In den Abb. d, e und f ist die Mantellinie keine Gerade, sondern eine irgendwie gekrümmte Linie (Krümmungsfehler)[1].

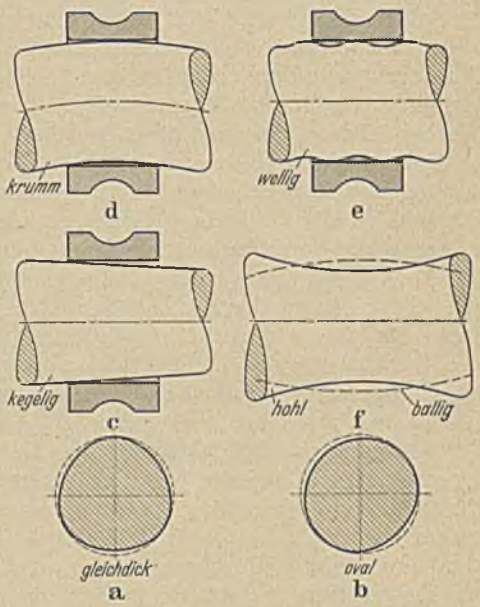


Abb. 10. Formfehler.

Je höhere Anforderungen an das betreffende Maschinenteil gestellt werden, um so geringer müssen die oben dargestellten Fehler sein. Bei Mantelflächen (Wellen) ist die Einhaltung enger Toleranzen wesentlich leichter als bei Bohrungen (Gehäusen). Die Größe der Unrundheit hängt in erster Linie von der Güte der Bearbeitungsmaschine ab. Sie kann aber auch beeinflußt werden von der Einspannung des Werkstückes und der Form desselben. Ist die Wandstärke sehr ungleichmäßig, dann tritt leicht ein nachträgliches Verziehen ein. In manchen Fällen ist es daher zweckmäßig, die Fertigbearbeitung nur bei geringer Spanabnahme oder kleinem Schleifdruck vorzunehmen, um die Erwärmung des Werkstückes niedrig zu halten. Die kegelige Form einer Bohrungs- oder Mantelfläche ist in erster Linie die Folge fehlerhafter Schlittenführung der Werkzeugmaschine.

[1] Kienzle: Wege zum zuverlässigen Werkstückmaß. Werkst.-Techn. 1937 Heft 23.

Um einen solchen Fehler zu erkennen, ist es notwendig, das erste Werkstück genau zu prüfen.

Abweichungen von dem parallelen und geraden Verlauf der Mantellinien kann man nur durch sorgfältige Prüfung, über die Breite der Sitzfläche hinweg, beobachten. Derartig geformte Flächen sind von großem Nachteil für den Sitz der Laufringe, da sie der Anlaß zur Bildung des „Reibrostes" sind. Der Laufring kann an den nicht unterstützten Stellen federn. Die geringen Bewegungen unter hoher Last führen zu einer Oxydation der Oberflächen. Gleichzeitig wird durch die nur stellenweise vorhandene wirklich innige Verbindung die zwischen beiden Oberflächen bestehende Pressung wesentlich beeinflußt, so daß eine Lockerung eintreten kann. Außerdem ergibt sich eine Beeinträchtigung der Tragfläche, weil die nicht unterstützten Zonen unter der Belastung federn und der Rest der Laufbahn entgegen dem der Berechnung zugrunde gelegten Zustand eine viel höhere spezifische Last aufnehmen muß.

Solche fehlerhafte Sitzflächen sind von ganz besonders großem Nachteil bei allen Rollenlagern, da die Form der Laufbahn in gleichem Maße gestört wird. Bei Lagern mit Punktberührung, z. B. einreihigen Kugellagern, ist die Einwirkung geringer. Die Nachteile sind bei Laufringen mit losem Sitz genau die gleichen wie bei solchen, die aufgepreßt wurden.

Krümmungen treten besonders leicht auf, wenn die Wellen nach der mechanischen Bearbeitung etwa durch Schmirgeln von Hand auf das richtige Maß gebracht werden, falls diese Operation nicht mit einer beinahe an Kunstfertigkeit grenzenden Sorgfalt erfolgt. Es kann daher nicht genügend eindringlich auf diese Gefahr hingewiesen werden. Selbstverständlich ist auch eine nachträgliche örtliche Bearbeitung der Sitzfläche unzulässig, weil ein Tragen des Laufringes an dieser Stelle unmöglich ist. In einem Falle konnte folgende Beobachtung gemacht werden: Um eine durch einen Schlag mit einem harten Gegenstand hervorgerufene Beschädigung des Schenkels zu beseitigen, hatte der betreffende Arbeiter die Hiebnarben mit einer Feile beseitigt. Die dadurch hervorgerufene viel stärkere Beschädigung des Schenkels war deutlich auf der Laufbahn des Innenringes zu erkennen. Die Laufspur besaß an dieser Stelle eine wesentlich geringere Breite. Durch diese Beobachtung wurde man veranlaßt, den Zustand des Schenkels zu untersuchen.

Wenn auch die Durchmessertoleranz der Sitzflächen bei Verwendung geschlitzter Kegelhülsen wesentlich größer sein kann als bei Lagern mit zylindrischer Bohrung, so bedeutet dies nicht, daß die Abweichungen von der Rundheit, der Zylinder- oder Kegelform, die gleiche Größenordnung haben dürfen. Sowohl für die Zuverlässigkeit des Sitzes als auch für die Laufgenauigkeit müssen die gleichen Anforderungen gestellt werden wie bei Lagern mit zylindrischer Bohrung. Ganz besonders trifft dies auf die Kegelflächen zu, die möglichst genau gleiche Steigung haben sollten, um eine gleichmäßige Aufweitung über die ganze Breite des Laufringes zu ergeben und damit gleichzeitig einen gleichmäßigen Sitz der Kegelflächen. Bei nicht übereinstimmenden Kegeln findet man den vom zylindrischen Sitz her bekannten Reibrost. Außerdem besteht die Gefahr, daß sich die Hülsen allmählich lockern. Das gleiche trifft selbstverständlich für den Sitz der Hülsenbohrung auf dem Zapfen zu. Auch diese Flächen sollen möglichst vollkommene Zylinder sein. Bei welliger Oberfläche trägt die Hülse nur an einigen Stellen. Ein rauher Zapfen kann leicht ein Fressen hervorrufen, wenn eine andere Fläche auf ihm unter hohem Druck verschoben wird. Bei Spannhülsen ist die Rauhigkeit der Welle nicht von derselben Bedeutung wie bei Abziehhülsen, weil das Lager auf die Hülse gepreßt wird.

Die Durchmessertoleranz kegeliger Sitzflächen spielt eine geringe Rolle, da für die Verschiebung des Innenringes meistens genügend Platz zur Verfügung steht. Wichtig ist aber die Prüfung der Kegelsteigung und der Erzeugenden des Kegels. Diese Kontrolle sollte mit einem Kegellehrring vorgenommen werden, der für diesen Zweck besonders angefertigt ist. Es ist jedenfalls nicht zulässig, bei der Einstellung des Supports von der Kegelsteigung auszugehen, da hierbei mit einem zu großen Fehler gerechnet werden muß. Der Lehrring sollte von dem Lagererzeuger hergestellt oder nach einer zur Verfügung gestellten Urlehre gefertigt werden, wenn eine genügend genaue Übereinstimmung zwischen dem Kegel der Lagerbohrung und des Zapfens erzielt werden soll. Ein Wälzlagerring darf nur im Notfall als Lehre benutzt werden, da er immer mehr oder weniger von der Urlehre abweicht. Wegen dieser Schwierigkeiten verwendet man den kegeligen Sitz nur dort, wo die Festigkeit bis zum äußersten ausgenutzt ist und ein gleich starker zylindrischer Zapfen, der größere Lager bedingt, mit Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden Raum nicht verwendet werden kann.

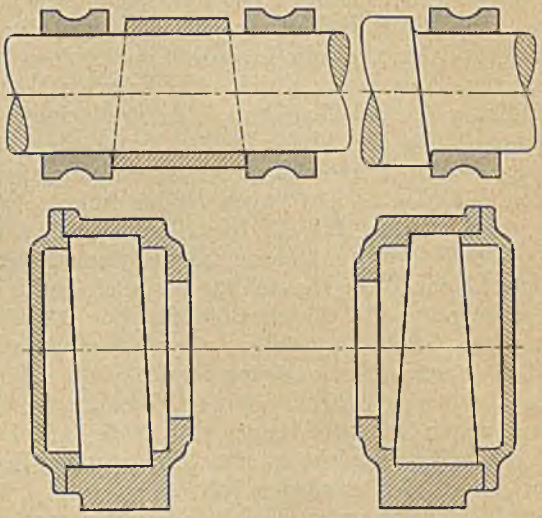


Abb. 11. Lagefehler der Stützflächen.

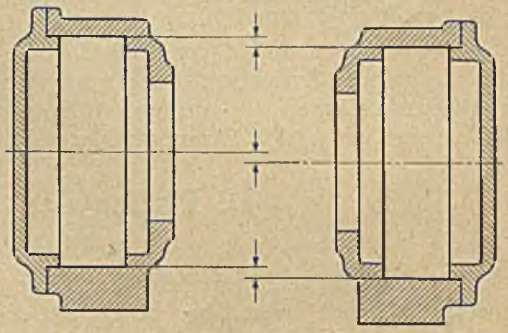


Abb. 12. Lagefehler. Versetzte Bohrungen.

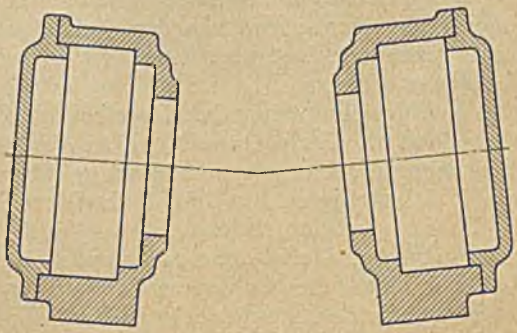


Abb. 13. Lagefehler. Nicht gleichachsige Bohrungen.

E. Lagegenauigkeit der Sitz- und Stützflächen.

In bezug auf die Lagegenauigkeit der Sitz- und Stützflächen können folgende Fehler vorkommen:

1. Eine oder beide seitlichen Stützflächen im Gehäuse oder auf der Welle, die Gehäuseschultern oder Wellenbunde oder die Seitenflächen von Abstandshülsen liegen nicht winkelrecht zur Achse der Zylinderflächen (Abb. 11).

2. Die Achsen der Sitzflächen der beiden Lagerstellen einer Welle liegen zwar parallel, sind aber in irgendeiner Richtung versetzt (Abb. 12).

3. Die Achsen der Sitzflächen der beiden Lagerstellen einer Welle liegen geneigt zueinander (Abb. 13).

Der Lagegenauigkeit der Seitenflächen wird meistens eine zu geringe Beachtung

geschenkt. Infolge starker seitlicher Verspannung oder hoher Axialdrücke wird der Laufring mehr oder weniger verkantet. Bei kleinen Lagern kann sogar die Welle gekrümmt werden. Wenn ein genauer Rundlauf der Welle verlangt wird, muß ganz besonders scharf darauf geachtet werden, daß die Anlageflächen genügend genau rechtwinklig zur Achse stehen.

Eine große Bedeutung hat die Lage der seitlichen Stützflächen bei Längslagern, da sie allein die Lage der Laufscheiben bestimmen. Der Fehler der Gehäuseschulter kann zwar durch eine kugelige Fläche behoben werden. Eine schiefe Stellung der „Wellenscheibe" infolge schiefer Lage des Wellenbundes oder der Seitenfläche der Abstandshülse kann jedoch nicht ausgeglichen werden. Hierin liegt oft die Ursache für eine Beschädigung oder für einen zu großen axialen Schlag der Längslager. Bei ungewöhnlich hohen Anforderungen muß außerdem dafür gesorgt werden, daß die Laufrillen möglichst genau konzentrisch liegen.

Der Fehler in bezug auf die Gleichachsigkeit der Sitzflächen zweier Lager kann sowohl durch die Herstellung als auch durch den Einbau hervorgerufen werden. Eine genügende Gleichachsigkeit der Sitzflächen für die Lagerbohrungen ist meistens leicht zu erzielen, wenn dieselben auf einem Wellenstück liegen. Beim Einbau zusammengesetzter Wellen muß danach gestrebt werden, diesen Fehler so klein wie möglich zu halten. Die Erzielung möglichst gleichachsiger Gehäusebohrungen macht dagegen oft große Schwierigkeiten, vor allen Dingen, wenn die Sitzflächen nicht in einer Aufspannung bearbeitet werden können, wie dies bei vielen Gußteilen der Fall ist.

Wegen der großen Gefahr, die mit einer Abweichung von der Gleichachsigkeit verbunden ist (Verkantung der Laufringe), und der oft unmöglichen Prüfung der Lagegenauigkeit sollte auf die zweckmäßige Bearbeitungsweise größter Wert gelegt werden, wenn an den betreffenden Lagerstellen Rillenkugellager, Kegelrollenlager oder Zylinderrollenlager zur Anwendung kommen. Durch Anordnung von Zentrierflächen und geeigneten Spannvorrichtungen kann auch in solchen Fällen eine genügende Genauigkeit erreicht werden.

II. Prüfen der Sitzflächen.

A. Einleitung.

Um die richtige Passung der Laufringe zu erzielen, kann man die Sitzflächen einzeln nach den Lagern bearbeiten, für die sie bestimmt sind. Dieses Vorgehen bringt jedoch große Nachteile mit sich. Es ist zeitraubend, für jedes einzelne Lager das Istmaß zu bestimmen und danach die Sitzfläche zu schleifen. Wird das Lager selbst für die Kontrolle der Sitzflächen benutzt, dann besteht die Gefahr, daß keine genügende Pressung erzielt wird, da sich das Prüflager nur über die Sitzfläche der Welle schieben läßt, wenn diese kleiner ist als die Bohrung. Hinzu kommt, daß eine Verschmutzung der Lager bei der Verwendung als Meßwerkzeug nicht zu vermeiden ist. Trotzdem wurde dieses Verfahren früher häufig angewendet, als die Bedeutung der Passung noch nicht genügend bekannt war und auch von seiten der Wälzlagerfirmen gewöhnlich eine Art Schiebesitz vorgeschrieben wurde.

Da diese Art des „Zupassens" von Welle oder Gehäuse und Lager auch heute noch in solchen Werkstätten angewendet wird, die keine geeigneten Meßwerkzeuge besitzen, sei auf die Nachteile dieses Verfahrens ausführlich hingewiesen. Meistens ist nicht bekannt, welches Istmaß die Bohrung oder der Mantel wirklich besitzt. Es ist daher auch nicht möglich, von diesem Maß bei der Bearbeitung der Sitzflächen auszugehen. Selbst wenn der zum Prüfen benutzte Ring auf den nach ihm hergestellten Sitzflächen eine befriedigende Passung erhalten hat, können

die übrigen Ringe entweder zu fest oder zu lose sitzen, je nach dem Istmaß des Prüfringes. Alle anderen Ringe ergeben einen zu losen Sitz, wenn sie zufällig an der Ausschußseite liegen, der Prüfring aber an der Gutseite. Es kann aber auch der umgekehrte Fall eintreten, daß die Laufringe einen zu festen Sitz erhalten. Die Abnehmer beklagen sich dann gewöhnlich über die große Ungenauigkeit der Lager, ohne zu bedenken, daß auch bei diesen Teilen eine gewisse Toleranz notwendig ist.

Auch die unvermeidliche Unrundheit der Laufringe führt zu einer fehlerhaften Beurteilung des Durchmessers der Sitzfläche.

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, daß das Messen mit einem einzigen Laufring immer einen verhältnismäßig losen Sitz ergeben muß, weil die Prüfung nur dann möglich ist, wenn die Sitzfläche kleiner ist als die Bohrung oder größer als der Mantel des Prüfringes. Soll ein einigermaßen zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden, dann müssen zwei Laufringe benutzt werden, von denen der eine an der Gutseite, der andere an der Ausschußseite liegt. Dies bedingt aber ein langwieriges Aussuchen der Ringe oder eine sehr genaue Herstellung, die mit großen Kosten verbunden ist, ohne wirklich zuverlässige Werte zu ergeben, da die schwachen Laufringe sich leicht verziehen.

Es ist daher in allen Fällen zweckmäßig, nach Grenzlehren zu arbeiten, die ebenso wie neuzeitliche Werkzeugmaschinen zu einer gut eingerichteten Werkstatt gehören.

B. Meßfehler.

1. Fehler der Meßgeräte. Es ist klar, daß alle Meßgeräte, gleichgültig ob es sich um feste Lehren oder Schraublehren handelt, mit mehr oder weniger großen Fehlern behaftet sind. Auch bei Verwendung von Zeigerlehren muß immer mit Fehlern gerechnet werden, je nach der Bauart des Instrumentes. Bei Meßuhren können die Fehler in der Meßuhr selbst liegen (Reibungs-, Übersetzungs- und Teilungsfehler) oder durch ihre Anlage und Auflage oder durch Druckschwankungen hervorgerufen werden. Wesentlich geringer sind die inneren Fehler bei Minimetern und Optimetern. In der Tabelle 1 sind die Fehler der gebräuchlichsten Meßgeräte vergleichsweise aufgeführt, die entweder durch DIN oder von den Herstellerfirmen festgelegt wurden. Eine Feinmeßschieblehre ist also für eine Kontrolle von Toleranzen, wie sie bei Wälzlagern oder Wellen und Gehäusen in Betracht kommen, nicht geeignet, da sie z. B. bei einem Durchmesser von 50 mm einen eigenen Fehler bis zu 0,042 mm aufweisen kann, der fast 3mal so groß ist wie die zulässige Toleranz der Lagerbohrung. Wie aus der Tabelle 1 zu ersehen ist, steht die Meßuhr bezüglich Genauigkeit an unterster Stelle der Zeigergeräte. Schon nach kurzzeitigem Gebrauch ist mit Abweichungen von 10···30 μ zu rechnen. Wesentlich genauer sind Fühlhebel mit Schneidenlagerung, „Minimeter“ und „Mikrotast“. Nach einem ähnlichen Prinzip arbeitet auch der Johansson-Indikator für Bohrungsmessungen sowie der Zeiss-Orthotest. Eine weitere Steigerung lassen die optischen Geräte zu. Die Fehler im Zeiss-Optimeter von $\pm$0,00025 mm lassen sich in mechanischen Meßgeräten kaum unterbieten. Für eine weitere Steigerung der Genauigkeit der Meßgeräte besteht bei der Kontrolle von Bohrungs- und Mantelflächen zur Zeit kein Bedürfnis.

2. Fehler durch unzulässige Abnutzung der Lehren. Wenn auch die Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß durch die heute verwendeten Werkstoffe und Herstellungsverfahren beträchtlich zugenommen hat, so ist doch eine Abnutzung der Meßflächen im Laufe der Zeit nicht zu vermeiden. Die zulässige Abnutzung ist in DIN 7162 festgelegt. Es ist daher dringend erforderlich, den Grad der Abnutzung nach einer gewissen Gebrauchsdauer zu kontrollieren. Ohne eine

Tabelle 1. Fehler von Meßwerkzeugen.

Meßwerkzeug		Möglicher Fehler*
Prüfmaßstab	DIN 865	$\pm\left(0{,}01 + \frac{L}{100000}\right)$ mm
Schieblehren $^1/_{50}$ Nonius	DIN 862	$\pm\left(0{,}02 + \frac{L}{50000}\right)$ mm
Grenzrachenlehren		
e W	DIN 2073	46 % der Ausgangstoleranz
h 5	DIN 7160 (ISA)	27 % der Ausgangstoleranz
Lehrdorne, Flachlehren u. a.		
e B	DIN 2072	36 % der Ausgangstoleranz
H 6	DIN 7161 (ISA)	21 % der Ausgangstoleranz

Schraublehren, Genauigkeitsgrad I DIN 863 — Gesamtfehler bei der Prüfung mit Parallelendmaßen:

Meßbereich mm über	Meßbereich mm bis	Fehler mm
25	100	0,004
100	150	0,005
150	200	0,006
200	300	0,007
300	400	0,008
400	500	0,010

Meßuhren DIN E 878—2

Genauigkeitsgrad	Größte Gesamtabweichung in der Fehlerkurve: Grobbereich bei einem Meßbereich bis 3 mm	bis 5 mm	bis 10 mm	Feinbereich	Umkehrspanne
I	0,010	0,012	0,015	0,005	0,002
II	0,015	0,020	0,025	0,007	0,003
III	0,025	0,030	0,040	0,010	0,005

Minimeter	1 : 500	(Ablesung 0,002)
Mikrotast	1 : 500	0,001 mm
Optimeter		(Ablesung 0,001) ± 0,00025 mm
Parallelendmaße, Genauigkeitsgrad I DIN 861		$\pm\left(0{,}0002 + \frac{L}{200000}\right)$ mm

* L = Meßlänge in mm.

ständige nach einem bestimmten Zeitplan vorgenommene Überprüfung der Lehren besteht immer die Gefahr, daß große Mengen oder teure Stücke Ausschuß werden. Leider wird diesem Umstand in manchen Werken noch nicht genügend Rechnung getragen. Nicht selten konnten Maßbeanstandungen an Wälzlagern auf unzulässig weit abgenutzte Lehren zurückgeführt werden.

3. Fehler durch die Meßkraft. Die heute üblichen Übergreiflehren — Rachenlehren und Schraublehren — sind mehr oder weniger elastisch. Da die Normaldrücke in der Meßfläche 4···6mal so groß sind wie die tangentiale Meßbelastung, kann die Meßkraft das Ergebnis stark beeinflussen. Bei Lehren von 10···200 mm ist der Unterschied zwischen dem Arbeitsmaß (bei einer

durch das Eigengewicht ausgeübten Meßkraft) und dem Eigenmaß (bei der Meßkraft Null) 0,3···12,9 μ[1]. Aus diesem Grunde wird in DIN 2057 nicht der Abstand der Meßflächen angegeben, sondern als Maß der Rachenlehre der Durchmesser derjenigen Meßscheibe, über die sie im leicht eingefetteten Zustande durch ihr Eigengewicht, aber mindestens 100 g, gerade hinübergleitet. Bei den ISA-Verhandlungen wurde ferner bestimmt, daß die Meßscheibe sachgemäß gereinigt, d. h. mit einem Vaseline-Fetthauch versehen und dann sorgfältig abgewischt werden muß. Statt des Eigengewichtes wurde auch eine andere Gebrauchsbelastung zugelassen, die aber anzugeben ist.

Bei waagerechtem Gebrauch treten Maßänderungen bis $\pm 10\,\mu$ und beim Überschwenken der Lehre über den Prüfling im Vergleich zum senkrechten Übergleiten bis zu 6 μ auf.

Kienzle beschreibt in einem Aufsatz „Feste Lehren im ISA-System"[2] eine Vorrichtung, mit der die Gebrauchsbelastung genau eingestellt werden kann. Es besteht im wesentlichen aus einem Waagebalken. An der einen Seite hängt die Lehre und an der anderen Seite ein veränderliches Gewicht zum Ausbalancieren der Lehre. Die Rachenlehre gilt als richtig, wenn sie unter einem bestimmten Gewicht gerade über die Prüfscheibe geht. In den Werkstätten einer namhaften Kugellagerfabrik werden alle Rachenlehren auf diese Art und Weise eingestellt, und zwar unter einem Gewicht von 100 g. Diese Einrichtung hat gleichzeitig den großen Vorteil, daß der Arbeiter von Zeit zu Zeit sein Gefühl kontrollieren und abstimmen kann. Es hat sich gezeigt, daß auch unerfahrene Arbeiter mit Hilfe dieses Apparates schon nach kurzer Zeit ein sicheres Gefühl für die Gebrauchsbelastung erhalten. Diese Maßnahme und die Begrenzung der Gebrauchsbelastung auf 100 g sind deshalb besonders wichtig, weil die Elastizität der verhältnismäßig dünnen Wälzlagerringe bei der Handhabung von Rachenlehren und Flachlehren große Fehler zur Folge haben kann.

4. Fehler durch Temperaturunterschiede. Der Temperatureinfluß auf Meßwerkzeug und Prüfling darf nie vernachlässigt werden. Ein Grad Temperaturunterschied ergibt für Stahl bei einer Meßlänge von 100 mm eine Abweichung von 1,1 μ. Bei einem Bohrungsdurchmesser von 215 mm würde z. B. ein Meßfehler von rund 12 μ zustande kommen, wenn die Lehre nur um 5° kälter oder wärmer wäre als das Gehäuse. Es ist daher notwendig, daß beim Messen Prüfling und Lehre oder Vergleichsstück, vor allen Dingen bei großen Teilen, immer gleiche Temperatur haben. Außerdem ist zu beachten, daß verschiedene Werkstoffe verschiedene Dehnung bei Temperaturerhöhung aufweisen. Aluminium hat beispielsweise einen doppelt so großen Ausdehnungsbeiwert wie Stahl. Ein Arbeitsstück aus Aluminium darf also unmittelbar mit einer Lehre aus Stahl nur bei der festgesetzten Bezugstemperatur gemessen werden, andernfalls muß ein Normalmaß aus Aluminium zum Vergleich benutzt werden.

5. Fehler durch Maßübertragung, Ablesung und persönliche Einflüsse. Bei der Übertragung der Maße von einem Meßwerkzeug auf ein anderes können sich die Einzelfehler addieren. So ist beispielsweise bei der Abnahme eines Maßes mit Meßschnäbeln und Übertragung auf ein Optimeter unter Kontrolleinstellung des Optimeters mit Parallelendmaßen bereits ein Fehler von 3···5 μ zu erwarten. Die Unsicherheit von 2 „angesprengten" Endmaßstücken kann im ungünstigsten Falle 0,5 μ betragen. Sie ist also für die bei Wälzlagersitzen anzustrebende Genauigkeit ohne Bedeutung.

[1] Werkst.-Techn. 1936 Heft 23.
[2] Werkst.-Techn. 1936, Heft 23.

POLITECHNIKA BIBLIOTEKA GDAŃSK

Die Ablesegenauigkeit eines Gerätes darf nicht mit der Genauigkeit des Meßergebnisses verwechselt werden. Wenn z. B. ein Minimeter bei einem Skalenwert von 0,01 mm eine Teilstrichentfernung von 1 mm besitzt und eine Schätzung auf $^1/_3$ dieses Wertes zuläßt, so ist damit keinesfalls gesagt, daß das Meßergebnis auf 0,003 mm genau ist. Die Ablesegenauigkeit ist vielmehr von mehreren Faktoren abhängig, so von der Strichstärke der Skala, von dem Teilstrichabstand und dem Lichteinfallwinkel.

Auch der subjektive Einfluß ist nicht auszuschalten. Er kann aber erträglich bleiben, wenn Fehler durch den Mittelwert einer Meßreihe ausgeglichen werden oder wenn die genaue Kenntnis des Meßgerätes systematische Fehler bei seiner Benutzung ausschließt.

6. ISA-Grundsätze I, II und III. Der Grad der Schwankung der Grenzwerte der

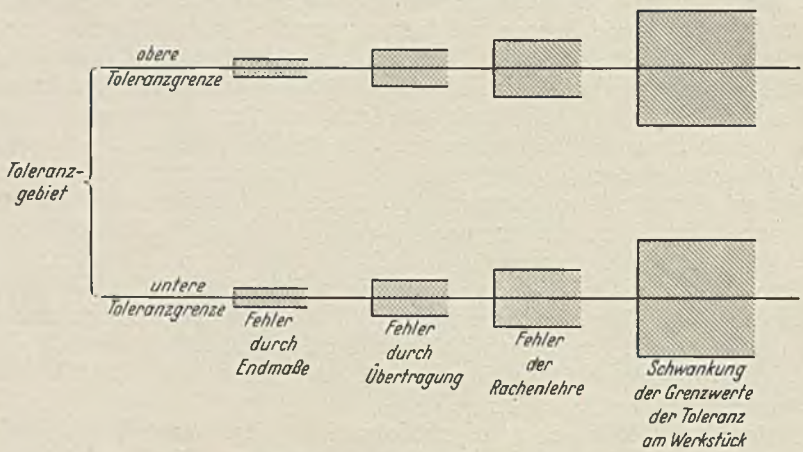


Abb. 14. Mögliche Schwankung der Toleranzgrenzen.

Toleranzen ist schematisch in der Abb. 14 dargestellt. Wie wichtig die Beachtung der Meßfehler und die Abstimmung der Meßverfahren ist, geht aus einer Untersuchung hervor, die von 4 Firmen bei 50 Lagern nacheinander vorgenommen wurde, um die Meßunsicherheit bei der Prüfung von Kugellagern festzustellen. In den Abb. 15 und 16 sind die größten Unterschiede, die sich bei den Messungen der 4 Firmen ergaben, für jedes Lager aufgetragen. Man sieht, daß die Meßunsicherheit im Vergleich zur Toleranz sehr groß ist.

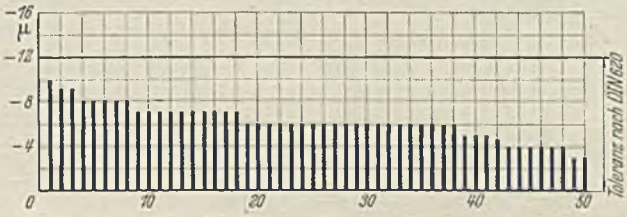


Abb. 15. Unterschiede des Meßergebnisses der Bohrung von 50 Lagern.

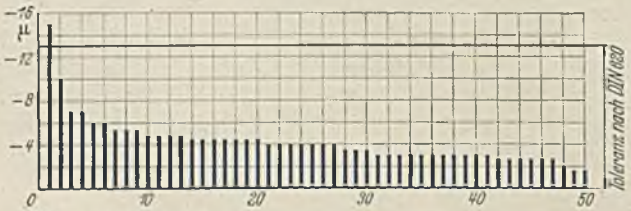


Abb. 16. Unterschiede des Meßergebnisses des Mantels von 50 Lagern.

Selbst wenn die Meßverfahren verbessert werden und ganz besondere Sorgfalt

bei der Messung aufgewendet wird, muß mit einer nicht unerheblichen Toleranz der Toleranzen gerechnet werden.

Für alle Meßmittel gilt daher der im ISA-System aufgestellte Grundsatz I[1]:

„Damit das wirklich vorhandene Maß eines industriellen Meßmittels zuverlässig innerhalb der in den Normen vorgeschriebenen Grenzen liegt (ohne diese Grenzwerte auszuschalten), muß der Hersteller die mögliche Unsicherheit seiner Messungen berücksichtigen.“

und für die Beziehung der Lehren zu den Werkstückgrenzmaßen der Grundsatz II[1]:

„Die nominellen Abmaße des ISA-Systems stellen die ideellen Grenzmaße der Werkstücke dar, d. h. die Grenzmaße, zwischen denen sich ihre Abmessungen unter Einschluß der Meßfehler des Herstellers befinden sollen. Sie bilden daher grundsätzlich die Grenzmaße der Fertigung.“

Um die Formfehler zu begrenzen, sollten bei Bohrungen der Durchmesser des kleinsten Hüllkreises und der größte auffindbare Durchmesser, und bei Wellen der Durchmesser des größten Hüllkreises und der kleinste auffindbare Durchmesser festgestellt werden. Dementsprechend lautet im ISA-System der Grundsatz III[1]:

„Die Lehre soll auf der Gutseite die gesamte Form messen, d. h. alle Durchmesser in allen Achsenschnitten. Umgekehrt soll die Ausschußseite die Möglichkeit geben, jeden einzelnen Durchmesser zu prüfen.“

C. Meßmittel.

1. Feste Lehren. Die Einhaltung des Grundsatzes III ist mit Lehrdornen für die Gut- und Ausschußseite, wie sie heute noch in den meisten Ländern verwendet werden, unmöglich. In Deutschland ist neuerdings auf Empfehlung des ISA-Unterausschusses entschieden worden, daß die Ausschußseite nicht mehr mit Lehrdornen geprüft werden soll, sondern je nach der Größe mit Flachlehren oder Kugelendmaßen. Bei sehr kleinen Bohrungen ist das Kugelendmaß unhandlich und eine Flachlehre günstiger. Damit wird man zwar den aufgestellten Bedingungen nicht vollkommen gerecht, man kommt ihnen aber sehr nahe. Es hat sich auch gezeigt, daß mit diesem Verfahren befriedigende Ergebnisse erzielt werden. Bei mittelgroßen Bohrungen kann man aber ohne Schwierigkeit einen Lehrdorn für die Gutseite und ein Kugelendmaß für die Ausschußseite anwenden. Ein Nachteil dieses Verfahrens könnte darin gesehen werden, daß bei unvorsichtiger Handhabung der Kugelendmaße bei dünnwandigen Ringen, z. B. Kugellagerringen, schon bei verhältnismäßig geringem Druck eine Verformung herbeigeführt werden kann.

Abb. 18. Darstellung der Gutseite und Ausschußseite bei der Tebolehre.

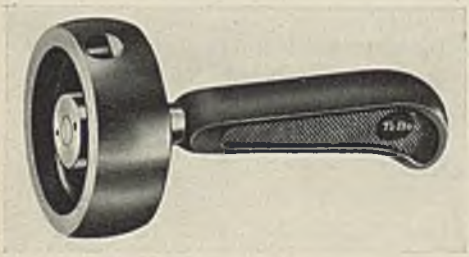


Abb. 17. Tebolehre.

Um diesen Nachteil zu vermeiden und beide Lehren, Lehrdorn und Kugelendmaß, in einer Lehre zu vereinen, wurde die Tebolehre (Abb. 17) entwickelt. Der Meßkörper der Tebolehre besteht aus einer Kugelzone (Abb. 18), deren Durchmesser gleich dem

[1] Siehe Kienzle: Feste Lehren im ISA-System. Werkst.-Techn. 1936 Heft 23.

Kleinstmaß der Bohrung ist. Er ist ohne Zwang in jede Bohrung mit größerem Durchmesser einzuführen und verhindert, wegen der innigen Schmiegung auf einem großen Teil des Umfanges, eine Verformung. Auf der Kugelfläche befindet sich in der Nähe der äußeren Kante ein erhabenes Stück in der Form einer Kugelkalotte. Die Entfernung zwischen dem höchsten Punkt der Kalotte und der gegenüberliegenden Stelle des Meßkörpers, $2r + t$, ist gleich dem zulässigen Größtmaß der Bohrung. Der Unterschied zwischen Größt- und Kleinstmaß, also die Höhe der Kugelkalotte (t), entspricht der Toleranz. Die Abb. 19a···d zeigen

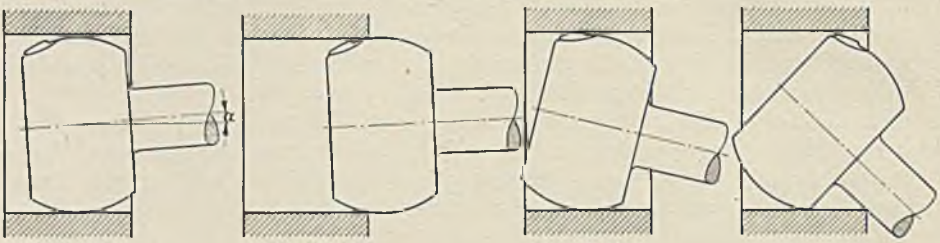


Abb. 19. Das Messen mit der Tebolehre.

den Gebrauch der Lehre. Die Tebolehre wird mit nach vorn geneigter Kalotte in die Bohrung geschoben (Abb. 19a). Mit dem unbehinderten Einführen ist die Bedingung für die untere Grenze erfüllt. Läßt sich die Lehre nicht einführen (Abb. 19b), dann ist die Gutseite noch nicht erreicht. Die Ausschußseite wird dadurch geprüft, daß man die Lehre schwenkt. Stößt diese Bewegung auf Widerstand, so ist die Bohrung gutzuheißen (Abb. 19c). Bei hemmungslosem Durchschwenken ist die Bohrung zu groß (Abb. 19d). In dieser Art wird die

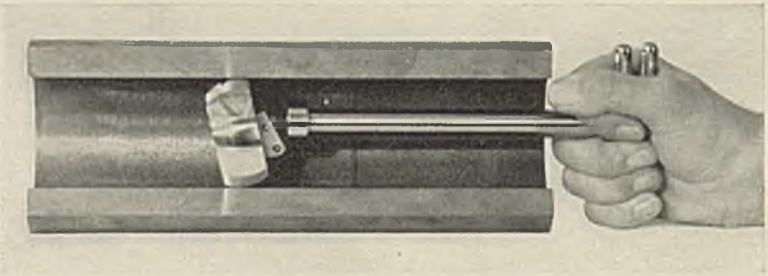


Abb. 20. Tebolehre mit Verlängerungsstück.

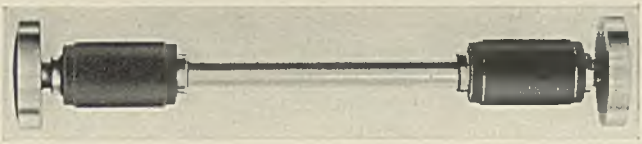
Bohrung am ganzen Umfang und über die Breite abgetastet. Ein anderer beachtlicher Vorteil der Lehre besteht darin, daß die Winkellage ein feinfühliges Maß für die Lage der Bohrung innerhalb der Toleranz ist. Eine Bohrung mit einem Ansatz kann nicht über die ganze Zylinderlänge gemessen werden. Bei einer Bohrung von 50 mm Durchmesser lassen sich 12,5 mm nicht prüfen, bei 100 mm Durchmesser fallen etwa 20 mm aus. Entscheidend ist jedoch, daß $^4/_5$ der Länge auf genaue Zylinderform untersucht werden können. Für lange Bohrungen wird der Meßkörper mit einem Verlängerungsstück versehen. Mit Hilfe einer Stange und einer Hebelübersetzung kann der Meßkörper nach dem Einführen an jeder beliebigen Stelle in einfacher, bequemer Weise geschwenkt werden (Abb. 20). Für große Bohrungen wird eine Ausführung

entsprechend Abb. 21 geliefert. Bei der Kontrolle der Ausschußseite verhindert der kugelige Meßkörper der Gutseite eine unzulässige Verformung des Prüfstückes.

Die Tebolehre stellt daher in der Vereinigung der Kontrolle des einbeschriebenen Kreises und des größten Durchmessers eine geradezu ideale Lösung dar mit einer Meßgenauigkeit, die diejenige von Lehrdornen für Gut- und Ausschußseite weit übertrifft.

Abb. 21. Tebolehre für große Bohrungen.

Für ganz große Bohrungen sind Lehren, die das Messen des einbeschriebenen Kreises erlauben, zu unförmlich. Es werden daher für die Gut- und Ausschußseite Kugelendmaße benutzt, deren Handhabung außerordentlich schwierig ist. Um eine bessere Genauigkeit zu erzielen, wurde ein Kugelendmaß entsprechend Abb. 22 konstruiert. Die zum Messen der Gutseite bestimmten Meßkörper sind pilzartig ausgebildet und so groß, daß verhältnismäßig lange Bogen des einbeschriebenen Kreises erfaßt werden (Abb. 22a). Für die Ausschußseite wird das eine Ende mit einem großen und das andere mit einem kleinen Meßkörper versehen (Abb. 22b). Der erstere



a

b

Abb. 22. Kugelendmaß nach Törnebohm.
a Pilzartige Meßkörper an beiden Enden (Gutseite). b Pilzartiger Meßkörper an einem Ende (Ausschußseite).

ermöglicht ein leichtes Zentrieren der Lehre, wenn der Berührungswinkel mindestens 4° beträgt. Der kleine Meßkörper erlaubt die Kontrolle des größten Durchmessers.

Für noch größere Bohrungen wird grundsätzlich die gleiche Anordnung vorgesehen (Abb. 23). Zum Messen der Gutseite dienen zwei breite, in der Mitte

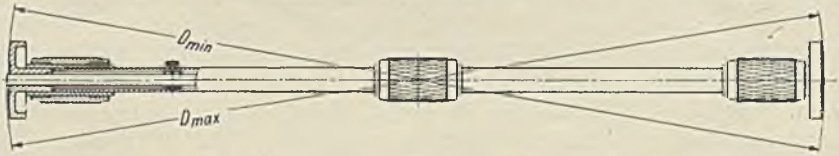


Abb. 23. Kugelendmaß nach Törnebohm für ganz große Bohrungen.

ausgesparte Meßkörper, die durch ein in der Länge veränderliches Rohrstück verbunden sind. Für die Ausschußseite wird ein Meßstab benutzt, der in das rohrartige Verbindungsstück paßt, so daß auf der einen Seite wieder eine breite

Auflage vorhanden ist und auf dem anderen Ende die Kuppe des unten aufstehenden Stabes das Prüfen des Größtmaßes gestattet.

Je nach dem Durchmesser ergeben sich somit folgende Meßgeräte für die Bohrung:

bis 18 mm Lehrdorn-Flachlehre,
über 18···180 mm Tebolehre (Abb. 17),
„ 180···250 mm Tebolehre (Abb. 21),
„ 250···630 mm Kugelendmaße (Abb. 22),
„ 630 mm Kugelendmaße (Abb. 23).

Bei den bisher üblichen Rachenlehren liegen die Verhältnisse ähnlich. Sie erlauben nicht die Prüfung des umbeschriebenen Kreises. Hinzu kommt, daß die Federung verhältnismäßig groß ist, vor allen Dingen, wenn leichte Lehren benutzt werden. Dadurch werden die mit großen Kosten erzielte Parallelität der Meßflächen und die Genauigkeit beeinträchtigt. Für die Prüfung des Hüllzylinders wäre theoretisch eine ringförmige Lehre am besten geeignet, deren Bohrung das Größtmaß aufweist und deren Länge mit der zu messenden Fläche übereinstimmt. Ein solcher Kaliberring ist aber schlecht zu handhaben und daher nur bei kleinen, dünnwandigen Hülsen üblich. Man sollte auch für Rachenlehren möglichst breite Meßflächen verwenden, um sich so dem idealen Zustand anzupassen. Für die Ausschußseite müßte theoretisch eine Lehre mit zwei auf das Kleinstmaß eingestellten Spitzen verwendet werden. Dann wird aber das Messen des wirklichen Durchmessers schwierig[1].

Abb. 24. Rachenlehre nach Törnebohm.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde eine neue Rachenlehre konstruiert, die in Abb. 24 dargestellt ist. Auf der einen Seite ist der Meßkörper eben. Er dient gewissermaßen als Meßtisch. Die Gutseite bildet einen in Achsrichtung liegenden Halbzylinder von der Breite der Meßfläche. Als Ausschußseite sind zwei kugelige Warzen angeordnet. Die Lehre befolgt also den Grundsatz: *Für die Gutseite breite Berührung, für die Ausschußseite schmale Berührung.* Die Federung wird unschädlich, weil das Messen nicht zwischen zwei ebenen Flächen, sondern zwischen einer Fläche und einer Mantellinie des Halbzylinders erfolgt. Außerdem werden Abweichungen von der zylindrischen Form leicht fühlbar. Die Verbindung zwischen beiden Armen verleiht der Lehre eine große Steifheit und erlaubt ein leichtes Einstellen. Der Einfluß der Erwärmung des Handgriffes wirkt sich nicht als Erweiterung, sondern als Verengerung aus.

2. Schraublehren. Die Schraublehren für Bohrung und Mantel erlauben die Bestimmung des kleinsten und größten Durchmessers und geben damit die Möglichkeit, die Formfehler zahlenmäßig festzustellen. Ihr eigener Meßfehler ist verhältnismäßig klein. Ihre Handhabung ist jedoch schwierig, so daß mit großen persönlichen Fehlern gerechnet werden muß. Sie werden daher in der Werkstatt nur dann benutzt, wenn sich die Anfertigung fester Lehren nicht lohnt. Ihre Verwendung ist auch bei der Abnahme oder Montage wegen ihres großen Meßbereiches zweckmäßig. Die Federung

[1] Siehe auch Kienzle: Feste Lehren im ISA-System. Werkst.-Techn. u. Werksl. 1936 Heft 23 S. 509.

dieser Lehren ist ähnlich groß wie die von Rachenlehren. Man kann aber nach vorheriger Einstellung mit einem Endmaß das tatsächliche Abmaß eines Bohrungs- oder Manteldurchmessers ermitteln.

3. **Zeigergeräte.** Bei den Zeigergeräten wird die Empfindlichkeit durch Getriebe, Hebel oder auf optischem Wege erhöht. Bei der Verwendung dieser Meßmittel ist man nicht mehr auf das Gefühl des Messenden und die durch ihn erzeugte Meßkraft angewiesen. Der persönliche Einfluß wird nahezu ausgeschaltet. Zwingend wird der Gebrauch solcher Geräte, wenn die Meßstelle für eine feste Lehre nicht zugänglich ist oder ein fortlaufendes Meßbild verlangt wird, das immer dann von Wert ist, wenn die Arbeitsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen oder die Oberflächenform von Werkstücken zu untersuchen ist. Auch die Fühlhebelgeräte sind Vergleichsinstrumente, die mit Grundmaßen eingestellt werden müssen.

III. Ein- und Ausbau der Wälzlager.

A. Vorbereitende Arbeiten.

Vor dem Einbau der Wälzlager muß der Monteur über die Gedanken, die der Lagerung zugrunde liegen, aufgeklärt werden. Besonders wichtig ist die Erläuterung über den Zusammenbau, wie ihn der Konstrukteur geplant und vorbereitet hat, da die Ausbildung der einzelnen Teile eine bestimmte Handhabung und Reihenfolge bedingt. Dabei ist eine sorgfältige Prüfung aller Toleranzen erforderlich in bezug auf ihren Einfluß beim Zusammenbau und ihre Bedeutung für die vorgesehene Passung. Selbst wenn der Konstrukteur versucht hat, die bildliche Darstellung in allen Einzelheiten auszuführen, kann auf eine verständnisvolle Mitarbeit bei der Montage nicht verzichtet werden. Man muß immer mit Irrtümern und Fehlern rechnen sowohl in der Zeichnung als auch bei der Herstellung und beim Versand der Teile. Der Austausch der Erfahrungen trägt dazu bei, daß das gewünschte Ziel des einwandfreien Arbeitens der Maschine mit geringsten Unkosten und größter Sicherheit ohne unangenehme Zwischenfälle erreicht wird.

Der Zusammenbau sollte nicht in der Nähe von Arbeitsplätzen erfolgen, an denen gefeilt, gebohrt oder gefräst wird, da sonst die Gefahr besteht, daß Späne oder andere Fremdkörper in die Lager gelangen. Leider wird die Bedeutung dieser Maßnahme viel zu wenig beachtet; man kann sogar beobachten, daß in unmittelbarer Nähe andere Teile mit Druckluft gereinigt werden. Eine Verschmutzung der Lager ist dann nicht zu vermeiden, vor allen Dingen, wenn die Lager offen auf den Werkplätzen liegen. Es kann durchaus möglich sein, daß der Lauf des Lagers durch außen am Fett hängende Fremdkörper zunächst nicht gestört wird. Im späteren Betrieb wandern sie jedoch allmählich in das Lagerinnere und führen entweder zu einer weitgehenden Zerstörung oder zu einer Beschädigung der Laufbahn in Form mehr oder weniger großer Eindrücke. Es ist deshalb dringend erforderlich, daß die Montage der Wälzlager, wenn schon kein getrennter Raum zur Verfügung steht, mindestens an einer von den anderen Arbeitsplätzen genügend entfernt liegenden Stelle vorgenommen wird.

Ebenso wichtig ist es, daß der Raum keinen krassen Witterungseinflüssen ausgesetzt ist. Selbst in Wälzlagerfabriken treten ab und zu Schwierigkeiten durch Temperaturschwankungen auf. Die Lager sind gegen Feuchtigkeit sehr empfindlich, vor allen Dingen nach dem Auswaschen in Benzin. Aber auch im eingefetteten Zustande ist die Rostgefahr noch groß, weil das Fett oder ein anderes Schutzmittel nicht mit Sicherheit die Oberfläche aller Teile genügend bedeckt.

Die nochmalige Reinigung der Lager vor dem Einbau ist nur zu empfehlen, wenn einwandfreie Waschvorrichtungen zur Verfügung stehen. Am günstigsten ist es, die Lager dabei auf einen Dorn zu setzen und die Reinigungsflüssigkeit, Benzin, säurefreies Petroleum oder Trichloräthylen, unter Druck in das sich drehende Lager zu spritzen. Es muß aber eine sicher wirkende Filtrierung eingebaut werden, da sonst der Zustand eher verschlechtert als gebessert wird. Derartige Wascheinrichtungen sind im Handel erhältlich; sie können aber auch leicht angefertigt und den jeweiligen Betriebsverhältnissen angepaßt werden. Die Wälzlagerfirmen dürften bereit sein, ihre eigenen Erfahrungen zur Verfügung zu stellen, da sie ein Interesse daran haben, irgendwelche Einflüsse fernzuhalten, die die Lebensdauer der Lager beeinträchtigen. Nach dem Reinigen müssen die Lager sofort wieder gut eingeölt werden.

Vor dem Zusammenbau sollten sämtliche Zubehörteile gründlich gereinigt und entgratet werden. Im Betrieb lösen sich die feinen Splitter und Sandkörner, wandern in das Lager und werden überwalzt. Die Oberflächenbeschaffenheit kann dadurch derart verschlechtert werden, daß die Tragfähigkeit sinkt. Schmiernuten, vor allen Dingen aber Schmierlöcher, die mit Gewinde versehen sind, müssen besonders gut gesäubert werden. Auch unbearbeitete Stellen des Gehäuses sollten sorgfältig von Formsand oder anderen lösbaren, harten Teilen befreit werden.

Für die Reinigung der Gehäusekörper und der anderen Zubehörteile sind selbsttätig arbeitende Reinigungsanlagen zu empfehlen, wenn laufend eine größere Anzahl von Lagern eingebaut werden muß. Um ein nachträgliches Lösen von Fremdkörpern zu vermeiden, hat sich das „Bullard-Dunn-Verfahren" gut bewährt. Es handelt sich dabei um einen elektrolytischen Reinigungsprozeß, bei welchem durch Bildung von Wasserstoffgas zwischen dem zu reinigenden Körper und den auf ihm haftenden Verunreinigungen, wie Rost, Zunder, Oxyd usw., diese Fremdteile mechanisch abgesprengt werden. Sobald der Grundwerkstoff freigelegt ist, wird sofort eine schützende, mikroskopisch dünne Metallschutzschicht (Blei oder Zinn) niedergeschlagen, die sich dicht und fest mit der Unterlage verbindet und sie gegen jede weitere Beizwirkung schützt. Es hat sich auch als zweckmäßig erwiesen, die unbearbeiteten Gehäuseflächen nach der Reinigung mit einem in Fett oder Öl nicht löslichen Metallack zu überziehen.

Es ist erforderlich, daß sämtliche Teile vor dem Zusammenbau durch eine vom Fertigungsbetrieb unabhängige Stelle auf ihre Maßhaltigkeit, Oberflächengüte und Formgenauigkeit geprüft werden. Wenn keine Sicherheit für fehlerfreie Stücke gegeben ist, muß bei der Montage eine Prüfung durchgeführt werden. Diese Maßnahme mag als Zeitvergeudung angesehen werden, wenn schon andere Stellen die Aufgabe hatten, die einwandfreie Ausführung zu begutachten. Es zeigt sich jedoch immer wieder, daß selbst bei gut geleiteten Unternehmen Fehler unterlaufen. Abgesehen davon, daß unangenehme Kosten entstehen, wenn nach weit fortgeschrittenem Zusammenbau einzelne Teile wieder herausgerissen werden müssen, besteht auch die Gefahr, daß das Arbeiten der Maschine in Frage gestellt ist. Die Ursache des Versagens kann dann erst nach langen Untersuchungen erkannt werden. Meistens läßt man sich zu Mutmaßungen verleiten, die leicht zu einem abwegigen Urteil über die Bewährung des betreffenden Maschinenteiles oder der Maschine führen. Bestehen aber über die maßgerechte Ausführung sämtlicher Teile und den einwandfreien Zusammenbau keine Zweifel, dann ist ein Fehler mit viel größerer Wahrscheinlichkeit zu finden. Wenn in dringenden Fällen Teile zum Einbau kommen, die den Vorschriften nicht vollkommen entsprechen, so sollte dies wenigstens aus dem Montagebericht zu ersehen sein.

Werden die Lager vor dem Einbau kontrolliert und zu diesem Zweck ausgewaschen, dann ist dafür zu sorgen, daß Rostbildung nach Möglichkeit vermieden wird. Besonders gefährlich ist Handschweiß, der auch bei eingeölten Lagern Rostspuren hervorrufen kann. Diese Erscheinung ist besonders gefährlich, weil ihre Wirkung zu spät erkannt wird. Der Lagerhersteller ist daher gezwungen, alle Arbeiter, die nach dem Zusammenbau mit der Kontrolle oder Verpackung zu tun haben, daraufhin untersuchen zu lassen. Handschweiß kann durch Waschen in einer Formalinlösung (20 ccm Formalin auf 1 l Wasser) oder in einer Lösung von Kesselsoda neutralisiert werden. Hinterher sind die Hände leicht mit Knochenöl einzureiben. Rostbildung läßt sich auch dann vermeiden, wenn die Lager unmittelbar nach der Kontrolle in eine kochende „Muzin-Lösung" eingetaucht und genügend lange erwärmt werden. Nach dieser Behandlung sollen die Lager gut abtropfen und in Petroleum gewaschen werden. Das Waschpetroleum darf höchstens 0,01 % freie Ölsäure enthalten. Es muß ein spezifisches Gewicht von 0,8, einen Flammpunkt über 50° C und Siedegrenzen von 150°···300° haben.

Nachdem auch das Waschpetroleum gut abgetropft ist, werden die Lager in 100°···110° heiße, dünnflüssige Naturvaseline getaucht, die folgende Beschaffenheit aufweisen muß: Tropfpunkt 35°···45° C, Ölsäuregehalt unter 0,03 %, Chlorgehalt unter 0,01 %, Flammpunkt über 180°, Aschegehalt unter 0,01 %.

Die Lager müssen so lange in der geschmolzenen Vaseline liegen, bis sie die Temperatur derselben ungefähr angenommen haben und jegliche Schaumbildung der Vaseline aufgehört hat. Die überflüssige Vaseline läßt man wiederum abtropfen und wickelt die Lager dann in chlorfreies, paraffiniertes Papier ein, das ein Gewicht von 40···42 g/m² hat und so fest ist, daß es beim Packen nicht reißt. Anstatt der Vaselinefettung kann auch Öl verwendet werden. Dieses muß aber dickflüssig und säurefrei sein und gut haften.

B. Arbeiten beim Ein- und Ausbauen.

Es ist schwer, allgemeingültige Richtlinien für die Montage der Wälzlager aufzustellen. Die Fälle liegen so verschieden, daß es zweckmäßig ist, an einer Anzahl von Beispielen die Reihenfolge des Zusammenbaues und die Bedeutung der jeweiligen Maßnahmen und Handgriffe zu erklären, damit sowohl dem Konstrukteur bei der Gestaltung der Lagerstellen als auch dem Monteur beim Zusammenfügen der Teile Hinweise gegeben werden, die für ähnliche Fälle Anwendung finden können. Aus diesem Grunde wurden solche Beispiele ausgewählt, die als grundsätzlich wichtig angesehen werden können.

Die Beschreibung der einzelnen Fälle bezieht sich vorwiegend auf die Tätigkeit beim Zusammenbau. Der Einfachheit halber wird gleichzeitig auf die Maßnahmen hingewiesen, die für den Ausbau notwendig sind. Es wird vorausgesetzt, daß sämtliche Teile den Vorschriften entsprechen.

1. Ein- und Ausbauen von geschlossenen[1] Querlagern mit zylindrischer Bohrung und Festsitz der Innenringe. Abb. 25 stellt die Lagerung einer Trennkreissäge dar mit Pendelkugellagern in einteiligen Gehäusen. Für die Innenringe wurde

---

[1] Unter „geschlossenen" Querlagern sind solche Wälzlager zu verstehen, bei denen die Laufringe in ihrer axialen Lage durch die Rollkörper begrenzt sind. Also: Pendelkugellager, Radiaxlager, einreihige Schrägkugellager mit eingepatschtem Laufring, zweireihige Schrägkugellager, Pendelrollenlager, Tonnenlager.

Unter „offenen" Querlagern sind solche Wälzlager zu verstehen, bei denen ein Laufring axial beliebig weit verschoben werden kann. Also: Schulterkugellager, einreihige Schrägkugellager, Zylinderrollenlager, Nadellager, Federrollenlager, Kegelrollenlager.

die Passung k_5, für die Außenringe J_7 gewählt. Der Zusammenbau kann wie folgt vorgenommen werden:

Wenn laufend die gleichen Teile montiert werden, ist es zweckmäßig, ein Gestell zu verwenden, in dem die Welle festgehalten wird. Zunächst muß die in

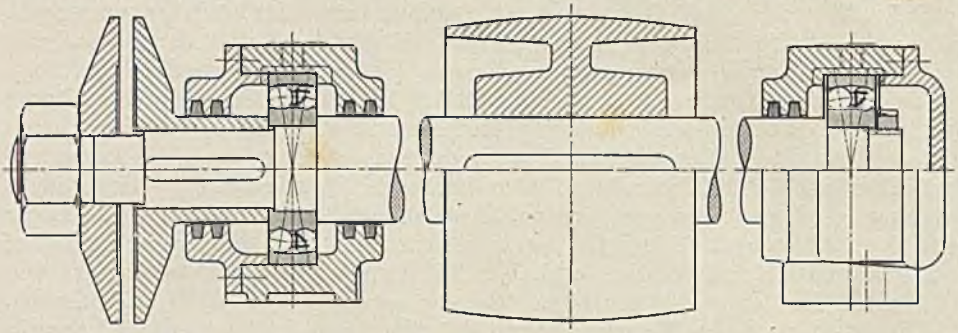


Abb. 25. Lagerung einer Trennkreissäge.

warmem Öl getränkte Filzdichtung in die Nuten eingelegt werden. Der Filz kann entweder aus einteiligen Ringen bestehen oder aus Streifen, die genau auf Länge schräg geschnitten werden, so daß sie nach dem Einlegen dicht schließen. Sie müssen die Nute gut ausfüllen und die richtige Größe besitzen, damit sie weder zu stramm noch zu lose auf der Welle aufliegen. Zu enge Filzringe können eine derartig große Reibung erzeugen, daß unzulässig hohe Temperaturen entstehen und ein Verschleiß der Welle herbeigeführt wird. Filzringe, die die Nut nicht vollkommen ausfüllen, weiten sich zu stark und erzielen keine genügende Dichtung.

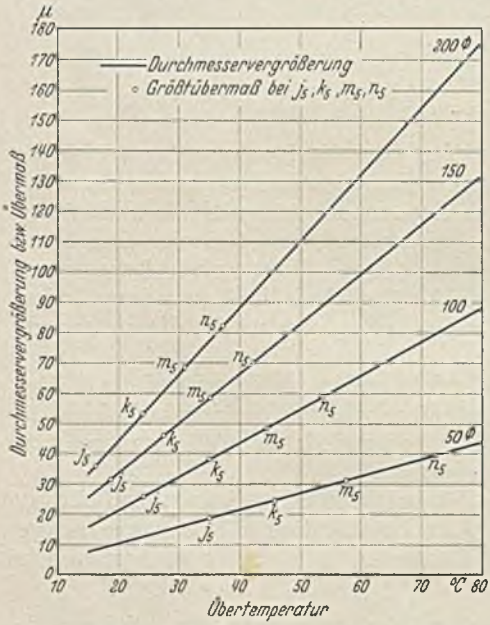


Abb. 26. Erforderliche Übertemperatur beim Aufziehen von Innenringen.

Die beiden Gehäuse werden dann über die Welle geschoben. Hierbei ist darauf zu achten, daß der Filz nicht an der Kante des Wellenabsatzes hängen bleibt und beschädigt wird. Es ist deshalb zweckmäßig, diese Kante zu brechen oder, wenn die Schulterhöhe ausreicht, einen schwach kegeligen Übergang zu dem dickeren Teil des Schaftes vorzusehen. Es ist nicht richtig, die Gehäuse mit Gewalt hinüberzudrücken, wenn der Filzring an der Kante des Wellenbundes festsitzen sollte. Durch langsames Drehen der Gehäuse bei gleichzeitigem, geringem Druck wird es in den meisten Fällen möglich sein, den Filzring allmählich auf seine Sitzfläche zu schrauben. Um die Lager bequem montieren zu können, ist es zweckmäßig, die Gehäuse zunächst über die Sitzfläche hinauszuschieben.

Die Lager werden auf etwa 70° erwärmt. Hierbei dehnen sich die Laufringe mehr als der Unterschied der Bohrung gegenüber der Welle beträgt. Da das größtmögliche Übermaß in diesem Falle bei der Passung k_5 und einem Wellendurch-

messer von 50 mm 0,025 mm ausmacht, entspricht dies einer Temperaturerhöhung von 45,5°, bei einer Wärmedehnungszahl von 0,000011. Bei einer Temperatursteigerung von 50° entsteht noch ein Spiel von 0,0025 mm. Dieser Unterschied ermöglicht es, das Lager von Hand leicht zu verschieben. In Abb. 26 ist die Erweiterung von Bohrungen in Abhängigkeit von der Übertemperatur angegeben und als Vergleich das größte Übermaß bei der Passung j_5, k_5, m_5 und n_5 aufgeführt. Eine Temperatur von 100° ist unbedenklich zulässig, da ein merkbares Nachlassen der Härte erst von etwa 150° an eintreten kann.

Es ist darauf zu achten, daß der Ring genau zentrisch verschoben wird, damit er sich nicht festsetzen kann. Sollte dies doch geschehen, dann müssen sofort passende Hülsen zur Verfügung stehen (Abb. 27), um den Ring durch Schläge

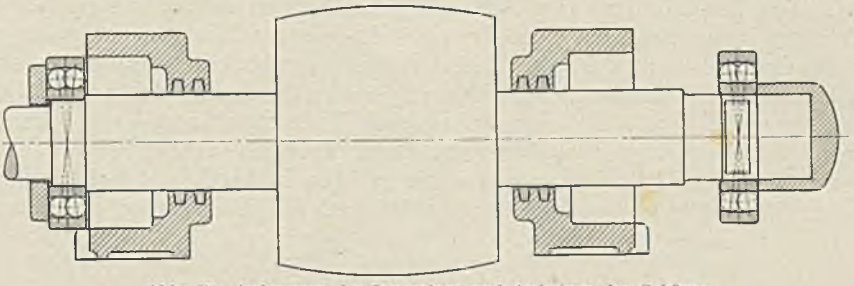


Abb. 27. Aufpressen der Innenringe und Aufsetzen der Gehäuse.

weitertreiben zu können. Um eine gute Anlage an der Wellenschulter zu erzielen, sollte der Ring nach dem Aufsetzen durch eine Hülse oder durch die Mutter seitlich festgespannt werden. Beim Erkalten schrumpft der Ring nicht nur in radialer Richtung, sondern auch in der Breite, so daß Luft zwischen Ring und Schulter entstehen kann. Es ist notwendig, das Lager wieder abkühlen zu lassen, bevor das Gehäuse über den Außenring geschoben wird. Die Pendellagerlaufringe schwenken unter ungleichmäßigem Druck aus. In diesem Zustand kann das Gehäuse nur mit Gewalt verschoben werden. Deshalb ist es zweckmäßig, die Schiefstellung des Außenringes durch eine Scheibe zu verhindern, die auf einer Seitenfläche des Außen- und Innenringes aufliegt (Abb. 27). Diese Maßnahme sollte bei Pendellagern immer zur Anwendung kommen, weil ein zu hoher Druck auf den schiefstehenden Ring leicht die Veranlassung zur Beschädigung der Laufbahn sein kann. Das Zurückschwenken des Laufringes darf nicht durch einseitigen Druck im Stillstand erfolgen, sondern nur bei gleichzeitigem Drehen des einen oder anderen Laufringes.

Bei ausgeschwenkten Außenringen werden die Lager eingefettet und der Raum neben jedem Lager nach der Riemenscheibe zu wird zur Hälfte mit Fett gefüllt. Jetzt kann bei dem linken Gehäuse der halb mit Fett gefüllte Deckel eingesetzt und verschraubt werden. Zum Schluß ist der eine Befestigungsflansch des Sägeblattes aufzusetzen. Das linke Gehäuse ist als Festlager ausgebildet, bei dem auch der Außenring in seiner axialen Bewegung entweder vollkommen oder mit einem geringen Spiel begrenzt ist. Das Loslager auf der rechten Seite muß so angeordnet werden, daß der Außenring nach jeder Seite eine genügende, der möglichen Wärmedehnung entsprechende Bewegung ausführen kann. Beim Verschrauben der Gehäuse auf ihrer Unterlage ist daher darauf zu achten, daß sowohl zwischen Gehäuseschulter und Außenring als auch zwischen der Seitenfläche des Deckelflansches und dem Außenring genügend Spiel vorhanden ist. Die richtige Lage kann dadurch kontrolliert werden, daß das Maß von der Seitenfläche des Außen-

ringes bis zur Seitenfläche des Gehäuses mit einer Tiefenlehre gemessen und mit der Höhe des Deckelansatzes verglichen wird. Der Unterschied ergibt die Lage des Außenringes im Vergleich zum festgeschraubten Deckel und läßt auch einen Rückschluß zu auf das Spiel zwischen Gehäuseschulter und Außenring, wenn dieses Maß und die Breite des Außenringes auf Grund der Zeichnung oder der vorhergehenden Nachmessung bekannt ist. Nach dem Abkühlen des Innenringes muß die Mutter nochmals nachgezogen und der Lappen des Sicherungsbleches in eine Nut gedrückt werden. Zum Schluß wird der teilweise mit Fett gefüllte Deckel befestigt.

Bei Fettschmierung genügt im allgemeinen ein festes Anziehen der Deckelflanschschrauben, um ein Austreten von Fett zu verhindern. Wenn aber die Seitenflächen des Ansatzes den Außenring festspannen sollen, wie es bei dem Gehäuse der linken Seite entgegen der tatsächlichen Ausführung gezeigt ist, weil das kleine Spiel von etwa 0,10 mm nicht dargestellt werden kann, entsteht zwischen Deckelflansch und Gehäuseseitenfläche ein Spiel, das durch eine elastische Packung ausgefüllt werden muß. Bei fest anliegenden Flanschen kann es in einzelnen Fällen empfehlenswert sein, Scheiben aus dickem Papier als Dichtung zu verwenden.

Der Ausbau der Lager kann auf beiden Seiten in ähnlicher Weise erfolgen. Nachdem die Fußschrauben beseitigt wurden und die Welle neben der Riemen-

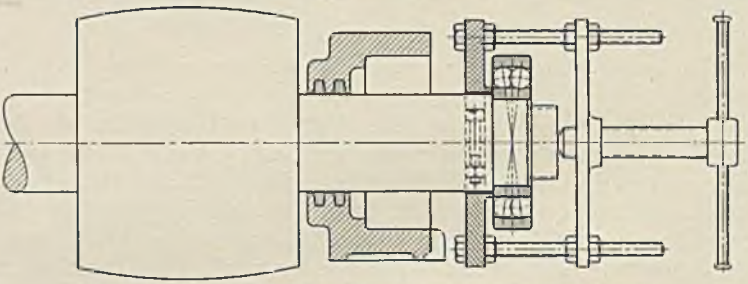


Abb. 28. Abziehen eines Pendelkugellagers mit einer Vorrichtung.

scheibe unterstützt ist, sind die Sägeblattflansche zu entfernen. Dann werden die Deckel und die Achsmutter nach dem Aufrichten des Sicherungslappens gelöst. Die Gehäuse werden so weit zur Seite geschoben, bis die Innenringe frei liegen. Jetzt kann die Abziehvorrichtung Abb. 28 angesetzt werden. Sie wird unmittelbar neben dem Innenring um die Welle gelegt und verschraubt. Durch Drehen der Spindel ist der Innenring allmählich von seinem Sitz zu ziehen. In der gleichen Weise erfolgt der Ausbau auf der anderen Seite.

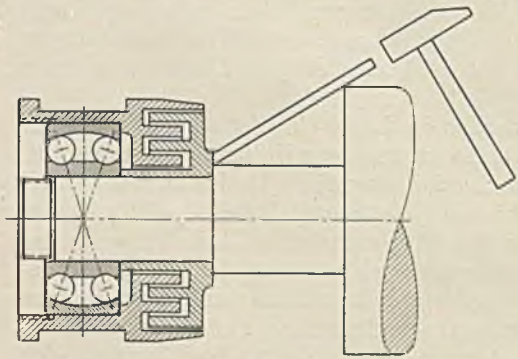


Abb. 29. Ausbau eines Pendelkugellagers durch Schläge auf den Labyrinthring.

Bei Gehäusen mit einem außen zugänglichen Abstandsring entsprechend Abb. 29 kann das Abtreiben des Innenringes durch Schläge auf die Seitenfläche dieses Ringes erfolgen. Unter keinen Umständen darf auf das Gehäuse geschlagen werden, weil dann die Kugeln mit großer Wahrscheinlichkeit Eindrücke in den Laufbahnen hinterlassen. Wenn eine Abziehvorrichtung, wie in

Abb. 28 gezeigt, nicht zur Verfügung steht, dann sollte wenigstens eine Vorrichtung entsprechend Abb. 30 benutzt werden. Der Ausbau der Lager aus den Gehäusen selbst kann durch Druck von Hand auf die Innenringe erfolgen, weil der lose Sitz der Außenringe eine leichte Bewegung in Achsrichtung gestattet.

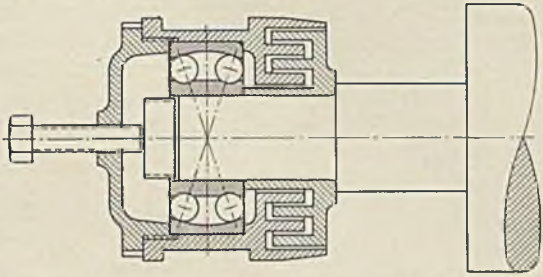


Abb. 30. Ausbau eines Pendelkugellagers mit Gehäuse durch Druckschraube im Deckel.

Die Vertikalfräse (Abb. 31) bedingt wegen der hohen Drehzahl und der möglichen Unwucht der Spindel einen verhältnismäßig festen Sitz beider Laufringe. Mit Rücksicht auf die notwendige Verschiebungsmöglichkeit eines Laufringes kann aber nur die Passung J_6 gewählt werden. Die Innenringe erhalten eine Passung k_5. Beim Einbau ist folgendermaßen vorzugehen:

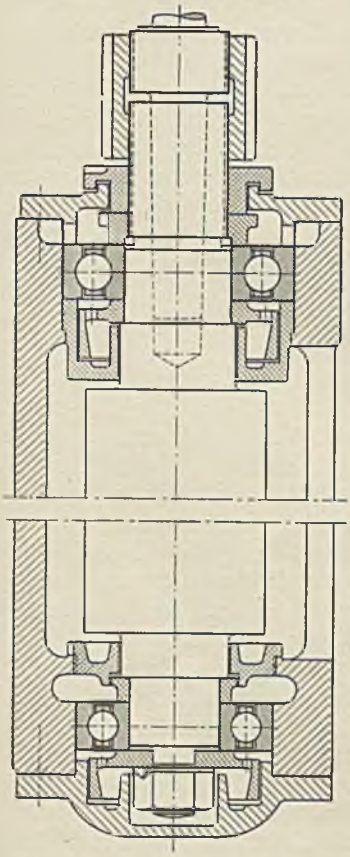


Abb. 31. Lagerung einer senkrechten Frässpindel.

Zunächst wird der im oberen Gehäuse sitzende Öltopf und der auf der Welle befestigte Schleuderring über den Zapfen geschoben. Hierauf ist das obere Lager in angewärmtem Zustande auf seinen Sitz zu bringen. Es ist aber auch möglich, dieses Lager kalt aufzupressen, da ein sehr langes Gewinde zur Verfügung steht. Zwischen Mutter und Innenring wird jetzt eine ebene Scheibe (Abb. 32) gespannt, die auch den Außenring abstützt. Nach genügendem Erkalten des Lagers kann die Spindel von oben in das Gehäuse gedrückt werden. Dabei müßte der Druck zum Verschieben des Außenringes über die Kugeln gehen, wenn nicht beide Ringe abgestützt wären. Die Spindel hat ihre richtige Lage erreicht, sobald der Öltopf des oberen Lagers mit seinem Ansatz an der Gehäuseschulter liegt. In der Grenzlage darf kein zusätzlicher Druck erfolgen, da sonst das Lager beschädigt werden könnte. Dann wird das untere Lager in kaltem Zustande über den Zapfen ge-

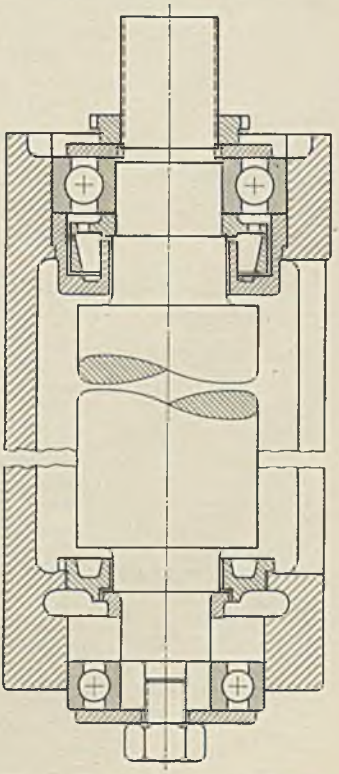


Abb. 32. Montage des unteren Lagers.

schoben und dabei auch durch eine besondere Hilfsscheibe (Abb. 32) abgestützt. Jetzt werden die beiden Hilfsscheiben entfernt und oben durch die Mutter und unten durch den Schleuderring mit Mutter und Sicherungsblech ersetzt. Dann kann der mit Öl gefüllte und mit einer Dichtungsscheibe versehene untere Deckel fest verschraubt werden. Das obere Lager ist mit der Ölmenge zu füllen, die vorher als zulässig ausprobiert wurde, und durch den Deckel zu verschließen.

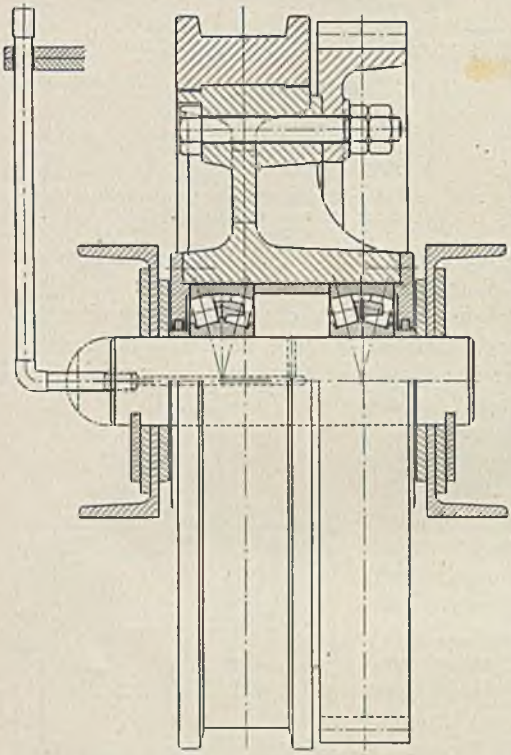


Abb. 33. Lagerung eines Kranlaufrades.

Der Ausbau geht in umgekehrter Reihenfolge vor sich. Die Deckel und Muttern an der oberen und unteren Lagerstelle werden gelöst und der untere Schleuderring durch die schon bei der Montage benutzte Stützscheibe ersetzt. Für das obere Lager läßt sich keine Stützscheibe beim Ausbau verwenden. Nachdem der Gewindedeckel des unteren Lagers so weit wie möglich zurückgeschraubt ist, wird die Spindel herausgedrückt, wobei der Deckel nach Bedarf weiter zu lösen ist. Das Abziehen der Lager von dem Zapfen muß bei dem oberen Lager über die Kugeln erfolgen, weil der Innenring nicht zugänglich ist. Bei der unteren Lagerstelle kann der Innenring durch eine Vorrichtung ähnlich Abb. 53, die auf den Gewindedeckel faßt, abgezogen werden.

Bei dem Kranlaufrad (Abb. 33) muß der Ein- und Ausbau der Lager in ähnlicher Weise vorgenommen werden. Hier bedingen die Betriebsverhältnisse infolge des umlaufenden Rades einen festen Sitz der Außenringe, während die Innenringe mit einer gewissen Luft auf der Achse sitzen können.

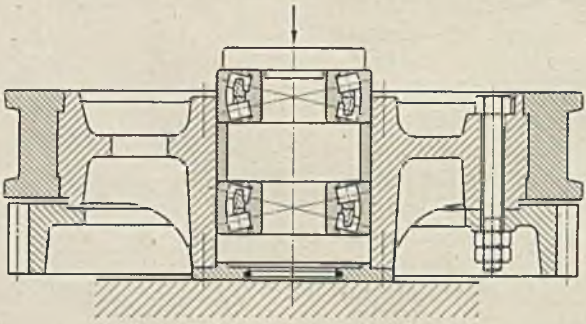


Abb. 34. Einpressen der Lager in die Nabe.

Nach dem Einpressen der im Inneren eingefetteten Lager und der Abstandshülse (Abb. 34) werden die Deckel verschraubt. Dann wird das Rad mit den vorläufig durch die Filzringe geführten Abstandsringen zwischen die Trägerkonstruktion gehängt und der Zapfen durchgeschoben. Als Sicherung werden auf jeder Seite Bleche eingelegt. Der Fettkanal wird durch das Zuführungsrohr geschlossen und der Raum zwischen den Lagern mit einer Fettspritze zum größten Teil gefüllt, da das Austreten von Fett keinen Schaden hervorrufen kann. Der Ausbau erfolgt in umgekehrter

Reihenfolge. Das Fettrohr wird entfernt und die Sicherung gelöst. Dann kann der Zapfen nach der einen oder anderen Seite herausgedrückt werden, wobei das Rad zu unterstützen oder aufzuhängen ist. Nach dem Lösen der Deckel können die Außenringe unter Zuhilfenahme eines Druckstückes ähnlich Abb. 34 unter einer Presse oder durch Schläge herausgetrieben werden.

2. Ein- und Ausbauen von Querlagern mit Spannhülsen. Bei der Lagerung eines Trockenzylinders (Abb. 35) werden in geteilten Gehäusen Spannhülsen ver-

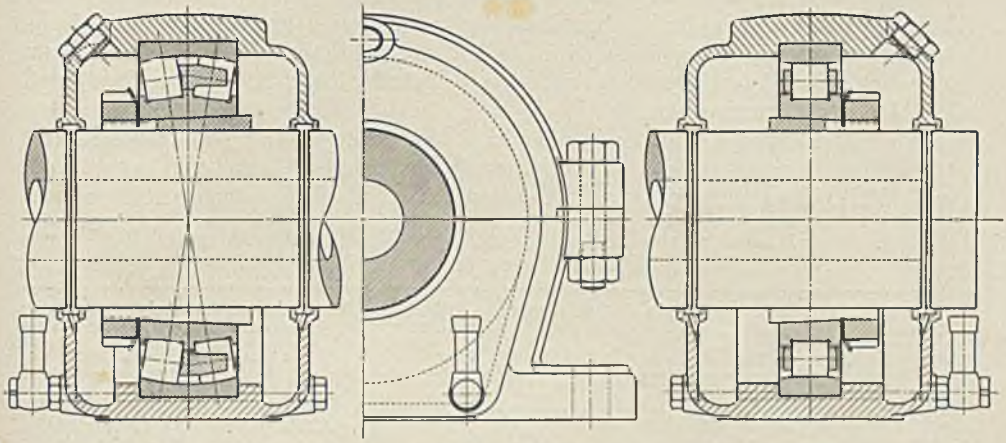


Abb. 35. Lagerung des Trockenzylinders einer Papiermaschine.

wendet, die axial nicht festgelegt sind. Die Lage der Spannhülsen muß daher vorher genau angezeichnet und am besten bei der Montage durch eine Schelle (Abb. 36) begrenzt werden. Derartige Klemmvorrichtungen zur Festlegung der axialen Stellung des Lagers sind hinfällig, wenn eine Abstandshülse benutzt werden kann. Bei unterstützter Trommel wird zunächst die durch einen Meißel geweitete Spannhülse (Abb. 37) und dann das Lager über den Zapfen geschoben, bis der Innenring an der Seitenfläche der Schelle zur Anlage kommt.

Mittels einer Fühllehre wird

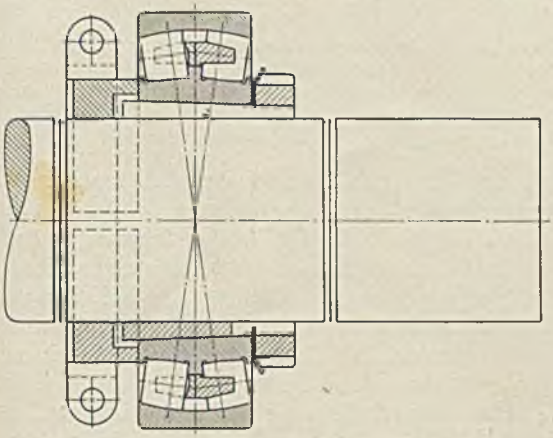


Abb. 36. Einbauvorrichtung für Lager mit Spannhülse.

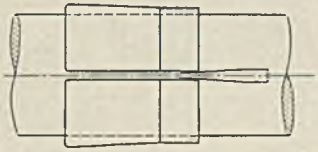


Abb. 37. Einbau der Spannhülse.

die Lagerluft gemessen. Da der Lageraußenring nach unten durchhängt, muß die Messung an der untersten Rolle vorgenommen werden. Dies geschieht in der Weise, daß ein ungefähr der Luftgröße entsprechendes Blatt von der Seite her zwischen Rolle und Außenring hindurch gezogen wird, bis jene Blattstärke gefunden ist, die sich nicht mehr einschieben läßt. Die tatsächliche Luft liegt

dann zwischen demjenigen Blatt, das sich gerade noch durchziehen läßt, und dem um 0,01 mm stärkeren Blatt, das nicht mehr hindurchgezogen werden kann. Jetzt wird die Mutter der Spannhülse angezogen und die Schelle entfernt, damit beim weiteren Anziehen nur das Lager auf der Hülse verschoben wird. Das Spannen muß so lange erfolgen, bis eine genügende Aufweitung des Laufringes entsprechend den Angaben in Tabelle 2 erreicht ist. Dabei muß die Luft in der vorher beschriebenen Weise gemessen werden.

Wenn keine Angaben über die Aufweitung vorliegen, kann von der für solche Laufringe möglichen zylindrischen Passung ausgegangen und das größtmögliche Übermaß zugrunde gelegt werden. Als leicht zu behaltende Regel kann man aber auch bei allen Hülsenbefestigungen die Aufweitung so weit treiben, daß 50% der Luft verschwindet.

Zum Schluß muß die Mutter in die nächste Sicherungsstellung weitergeschraubt und der entsprechende Lappen des Sicherungsbleches in die Nut gedrückt werden. Das Gehäuse des Führungslagers ist dann auf der Unterlage fest zu verschrauben.

Tabelle 2. Empfehlenswerte Luftabnahme beim Einbau von Pendelrollenlagern mit kegeliger Bohrung (Kegel 1 : 12) in mm.

Bohrung in mm		Verminderung der Radialluft	Axiale Auftreibung des Lagers	Bohrung in mm		Verminderung der Radialluft	Axiale Auftreibung des Lagers
über	bis	in mm	in mm	über	bis	in mm	in mm
40	50	0,030···0,035	0,45···0,55	250	280	0,110···0,140	1,70···2,20
50	65	0,030···0,035	0,45···0,55	280	315	0,120···0,150	1,90···2,40
65	80	0,040···0,045	0,60···0,70	315	355	0,140···0,170	2,20···2,70
80	100	0,045···0,055	0,70···0,85	355	400	0,150···0,190	2,40···3,00
100	120	0,050···0,060	0,75···0,90	400	450	0,170···0,210	2,70···3,30
120	140	0,060···0,070	0,90···1,10	450	500	0,190···0,240	3,00···3,70
140	160	0,065···0,080	1,00···1,30	500	560	0,210···0,260	3,30···4,00
160	180	0,070···0,090	1,10···1,40	560	630	0,230···0,290	3,60···4,50
180	200	0,080···0,100	1,30···1,60	630	710	0,260···0,320	4,00···5,00
200	225	0,090···0,110	1,40···1,70	710	800	0,290···0,360	4,50···5,60
225	250	0,100···0,120	1,60···1,90	800	900	0,330···0,410	5,10···6,30

In vorstehender Tabelle sind jeweils links die Werte angegeben, um die man beim Einbau von Pendelrollenlagern zweckmäßigerweise die Radialluft vermindert. Daneben sind die Beträge für die Verschiebung der Innenringe in axialer Richtung angegeben, die notwendig sind, um die in den linken Spalten stehende Luftabnahme zu erzielen. Hierbei sind volle, d. h. undurchbohrte Zapfen aus Stahl mit geschliffener Sitzfläche vorausgesetzt.

Abb. 38. Verkantet eingebautes Pendelkugellager.

Das Unterteil des Lagergehäuses, das zur Aufnahme des Zylinderrollenlagers dient, muß der Stellung des Lagers auf der Achse genau angepaßt werden, bei gleichzeitiger Ausrichtung mit dem Führungsgehäuse. Mit Hilfe eines Lineals wird die parallele Lage der Seitenflächen der beiden Laufringe geprüft. Zur Laufbahn des Außenringes schräg stehende Rollen rufen erhöhte Reibung und ständig wirkenden Axialdruck hervor. Besonders gefährlich ist ein Zustand, bei welchem der Außenring verkantet im geteilten Gehäuse sitzt (Abb. 38). Erst nachdem die einwandfreie Lage der beiden Laufringe zueinander festgestellt wurde, darf das Gehäuse auf der Unterlage verschraubt werden. Wegen der großen Wärmedehnung ist ein entsprechender Versatz der beiden Laufringe des Zylinderrollenlagers von vornherein vorzusehen, damit die Laufringe im Betriebszustande ungefähr die gleiche Lage einnehmen. Dann wird

in beide Unterhälften bis zur Mitte der untersten Rolle das für diesen Zweck vorgeschriebene Öl eingefüllt. Zum Schluß wird die obere Hälfte aufgesetzt und verschraubt.

Vor dem Ausbau der Lager ist der Zylinder abzustützen. Dann können die Oberhälften abgenommen und die Hülsenmuttern nach Aufbiegen der Sicherungslappen einige Umdrehungen gelockert werden. Der Trockenzylinder ist dann so weit zu heben, daß sich die beiden Lager allein oder mit den Gehäuseunterhälften vom Zapfen abziehen lassen. Zu diesem Zwecke werden die Schellen wieder um den Zapfen geklemmt, so daß ihr Ansatz an der Seitenfläche des Innenringes liegt. Dann wird die Hülse mit Hilfe eines Druckstückes durch Schläge aus der Bohrung getrieben (Abb. 39). Nach einer

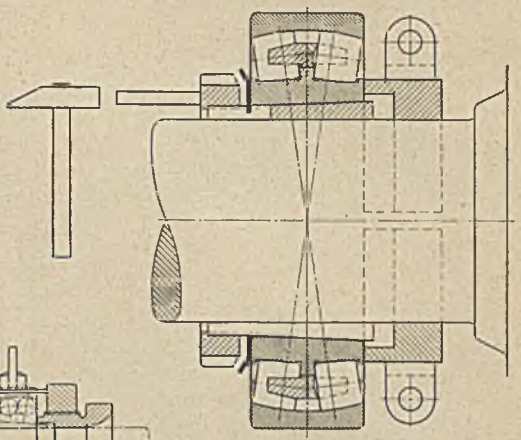


Abb. 39. Ausbau eines Lagers mit Spannhülse.

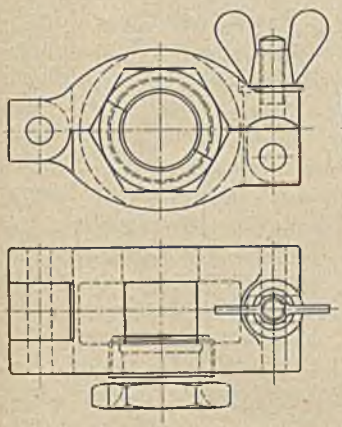


Abb. 40. Einbauvorrichtung für Lager mit Klemmhülse.

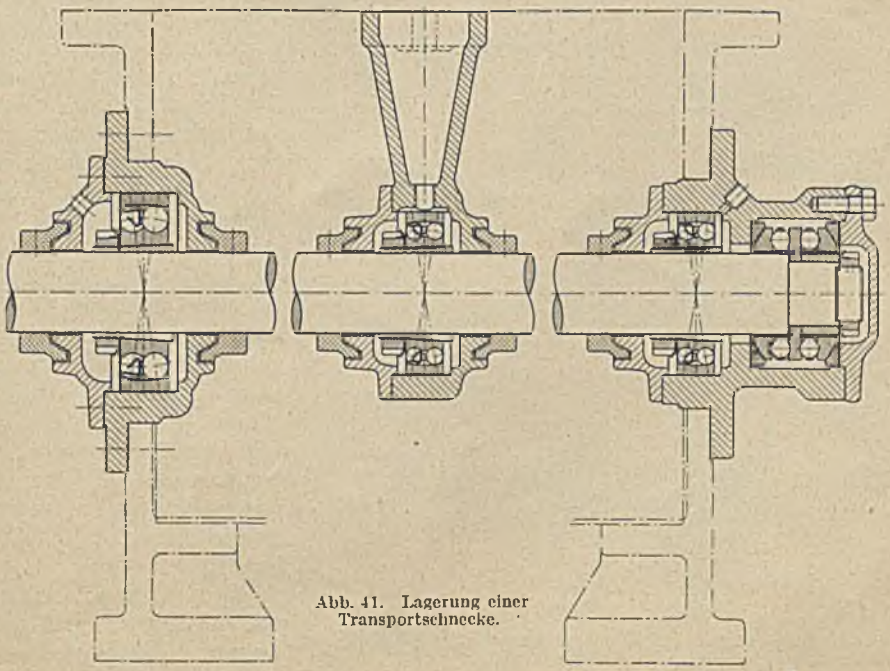


Abb. 41. Lagerung einer Transportschnecke.

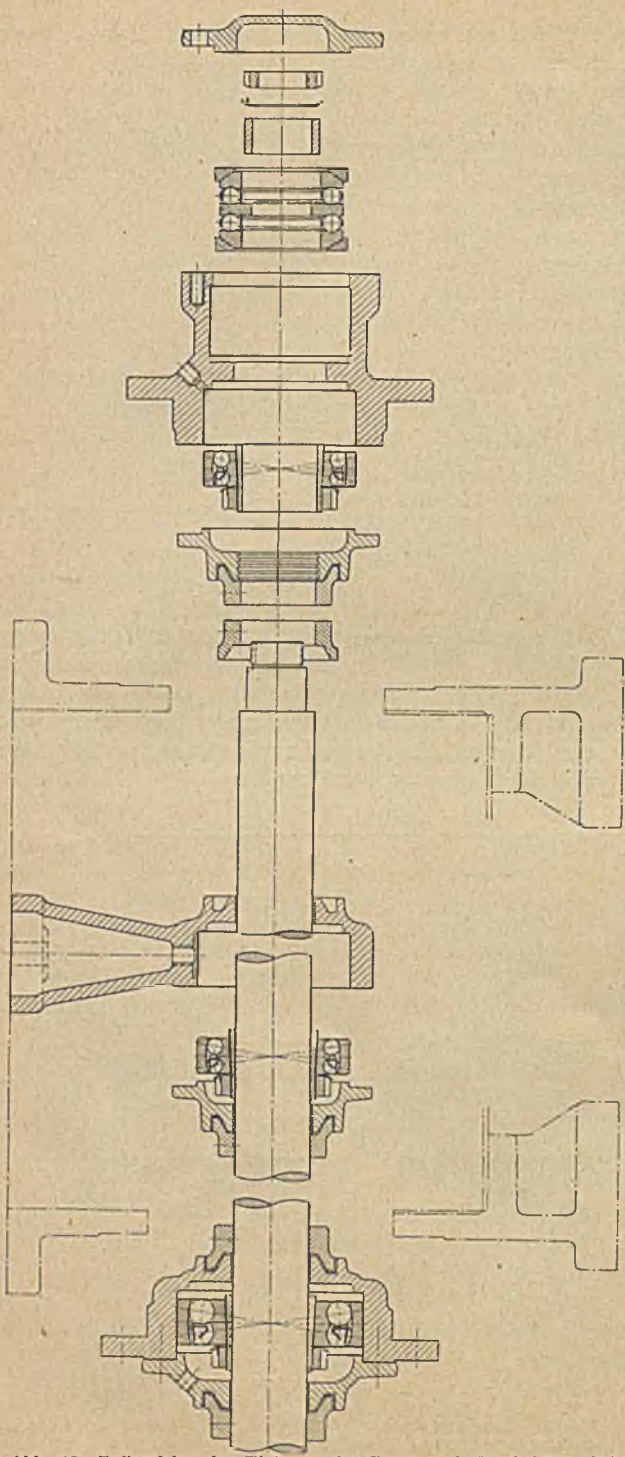


Abb. 42. Reihenfolge des Einbaues der Lager und der Gehäuse bei einer Transportschnecke.

kleinen axialen Verschiebung sitzt das Lager locker und kann jetzt mit der entspannten Hülse abgezogen werden.

Für Landmaschinenlager wird eine Sondervorrichtung (Abb. 40) benutzt, die gleichzeitig eine axiale Festlegung und ein Spannen der Lager gestattet.

Bei den einteiligen Gehäusen einer Transportschnecke erfolgt der Ein- und Ausbau in ähnlicher Weise. Dies geht ohne Schwierigkeit, wenn sich die Gehäuse wie in Abb. 41 axial verschieben lassen. Die mit den beiden linken Lagern und dem Flanschgehäuse fertig montierte Welle wird durch das mittlere Hängelager geschoben (Abb. 42). Dies muß vorher genau ausgerichtet werden. Außerdem ist darauf zu achten, daß ein Verkanten des Lagers (Abb. 38) vermieden wird. Auf der anderen Seite läßt sich zunächst das Spannhülsenlager montieren und dann das Flanschgehäuse überschieben und verschrauben. Zum Schluß müssen die Längslagerscheiben mit den Kugelsätzen eingelegt und eingestellt werden. Der Ausbau erfolgt in ähnlicher Weise. Die bei der Montage der Längslager zu beobachtenden Maßnahmen werden in einem späteren Beispiel ausführlich behandelt.

3. Ein- und Ausbauen von Querlagern mit Abziehhülsen. Die Betriebsver-

hältnisse bei Rollenachslagern (Abb. 43) bedingen einen festen Sitz der Innenringe. Die Außenringe können, da „Punktlast" vorliegt, lose sitzen. Die Nacharbeit an den Bandagen und der Ausbau der Lager zwecks Kontrolle erfordert die Verwendung von Abziehhülsen, die sich leicht lösen und wieder befestigen lassen. Bei dem Ein- und Ausbauen der Lager ist folgendermaßen vorzugehen:

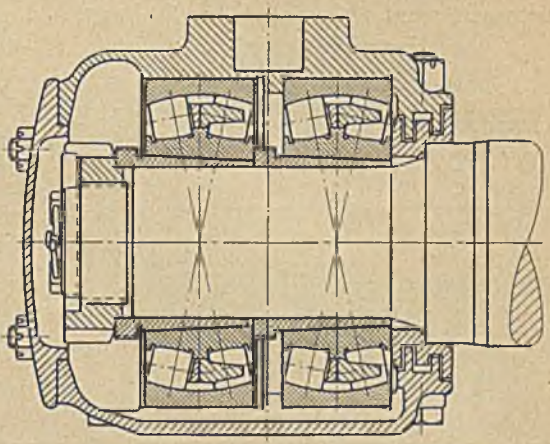


Abb. 43. Achslager mit 2 Pendelrollenlagern auf Abziehhülsen.

Der auf 150° C erwärmte Labyrinthring wird auf seinen Sitz geschoben und mit einer Montagehülse (Abb. 44) durch Anziehen der Ringmutter mit einem Schlüssel (Abb. 45) gegen den Wellenbund gepreßt. Während des Erkaltens ist die Mutter mehrmals nachzuziehen. Da die Abkühlung des durch den Labyrinthring erwärmten Achsschenkels nur langsam vor sich geht, sollte mit dem Einbau der Rollenlager genügend lange gewartet werden, da sonst die Gefahr besteht, daß sich die eingepreßten Hülsen durch nachträgliches Schrumpfen des Achsschenkels lockern. Dann wird das eine Rollenlager über den Achsschenkel geschoben und die Abziehhülse von außen mit Hilfe einer Montagehülse durch Anziehen der Ringmutter eingepreßt (Abb. 46). Um ein Fressen der Hülsen zu verhindern, werden die Sitzflächen im Innenring und auf dem Achsschenkel eingeölt. Das äußere Rollenlager wird mit seiner Hülse in der gleichen Weise befestigt (Abb. 47). Nach dem Anziehen der Hülsen muß geprüft werden, ob das innere Lager fest an dem Labyrinthring und das äußere Lager fest an der Seitenfläche der inneren Hülse liegt.

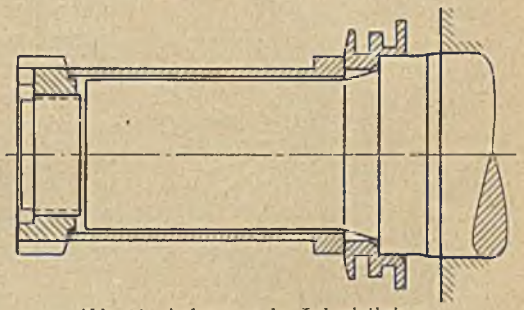


Abb. 44. Aufpressen des Labyrinthringes.

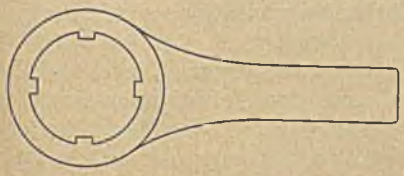


Abb. 45. Schlüssel für die Ringmutter.

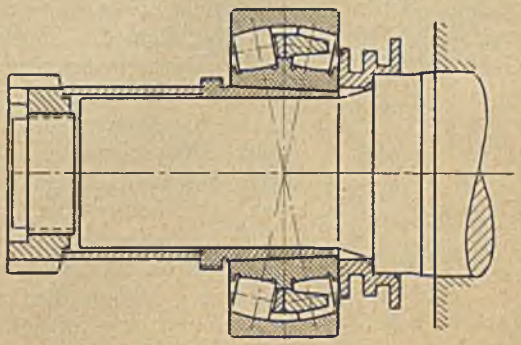


Abb. 46. Einpressen der inneren Abziehhülse.

Die Hülsen müssen kräftig eingepreßt werden, damit ein strammer Sitz erzielt wird. Die Prüfung besteht in der Kontrolle der Lagerluft vor und nach dem An-

ziehen mit Hilfe einer Fühllehre (Abb. 48). Die Aufweitung des Innenringes muß bei der hier vorgesehenen Lagergröße mit 110 mm Bohrung 0,05···0,06 mm betragen, wenn sich die Spannhülse nicht lockern soll. Wird vor dem Einbau eine Lagerluft von 0,1 mm festgestellt, so ist bei 0,04···0,05 mm gemessener Lagerluft nach dem Anziehen die richtige Pressung erreicht. Andererseits dürfen die Rollen durch das Aufweiten des Innenringes nicht zwischen den Ringen festgeklemmt werden. Nach dem Anziehen der Hülsen muß immer noch so viel Luft in jedem Lager vorhanden sein, daß sich der Außenring leicht drehen und ausschwenken läßt. Bleibt die Aufweitung trotz kräftigen Anziehens beträchtlich unter dem obengenannten Maß, so muß die Hülse wieder herausgezogen werden, da dann meistens ein vorzeitiges Fressen durch irgendwelche Fremdkörper eingetreten ist.

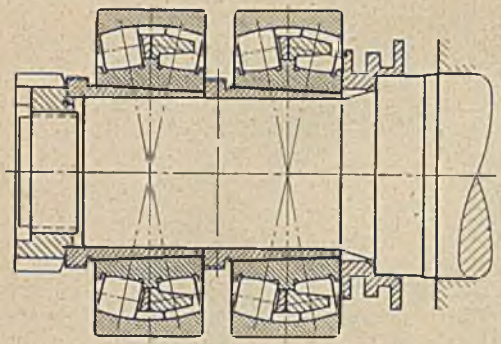


Abb. 47. Einbau des äußeren Lagers.

Die Ringmutter wird durch einen Keil, der in die dafür vorhandene Nute im Achsschenkelende und in eine der in der Mutter vorhandenen Aussparungen paßt, mittels Sechskantschrauben gesichert. Der Keil ist an einem Ende unsymmetrisch ausgebildet, so daß sich bei einer Umdrehung der Mutter *44* verschiedene Stellungen für die Sicherung ergeben (Abb. 49). Falls der Keil nicht genau in die Aussparung paßt, muß die Mutter weiter angezogen werden. Ein Zurückdrehen ist nicht statthaft. In der richtigen Lage wird der Keil mit zwei Schrauben befestigt, die durch eine Schlaufe aus weichem Eisendraht am Lösen verhindert werden. Nach Beendigung der Montage werden die Lager eingefettet, und auch der Raum zwischen beiden Lagern und am Ende des Achszapfens, ebenso wie die Nuten der Labyrinthringe, teilweise mit Fett gefüllt. Nachdem die Lagersitzflächen eingeölt sind, werden die Gehäusehälften über die Lager gelegt und mit den Schrauben fest zusammengezogen, damit die Trennfugen dicht schließen. Beim Sichern dürfen die Muttern nicht zurückgedreht werden. Durch langsames Drehen von Hand ist der leichte Gang der Rollenlager zu prüfen. Fehler, z. B. Berührung im Labyrinth, machen sich dabei bemerkbar.

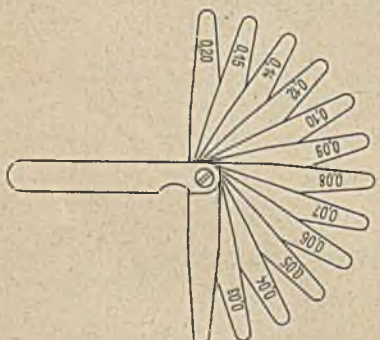


Abb. 48. Fühllehre.

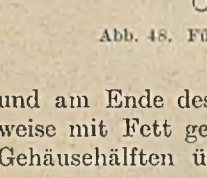


Abb. 49. Achsschluß.

Beim Ausbau ist sinngemäß zu verfahren. Deckel und Gehäusehälften werden nach Lösen der Befestigungsschrauben entfernt. Dabei dürfen keine Meißel oder Keile an den Trennfugen angesetzt werden, da der entstehende Grat ein dichtes Schließen beim Zusammenbau verhindern würde. Auch der Transport der einzelnen Gehäusehälften darf nur in zusammengespanntem Zustand erfolgen. Es ist zweckmäßig, die beiden Gehäusehälften vor dem Auseinandernehmen durch Nummern oder Körner als zusammengehörig zu be-

zeichnen. Nach Lösen des Sicherungskeiles wird die Ringmutter entfernt. Dabei wird auf den mit Gewinde versehenen Teil der äußeren Hülse eine Abziehmutter (Abb. 50) aufgeschraubt und die Hülse herausgezogen. In der gleichen Weise erfolgt das Lösen des inneren Lagers. Der Labyrinthring wird normalerweise nur beim Auswechseln der Achse abgezogen und kann dann beim Abpressen der Räder entfernt werden. Für den Ein- und Ausbau der Rollenlager kann auch eine hydraulische Presse (Abb. 51) benutzt werden, die auf das Gewinde der Achse geschraubt wird und mit wenigen Hüben das Festspannen oder Lösen der Lager gestattet. Diese Vorrichtung hat sich sehr gut bewährt.

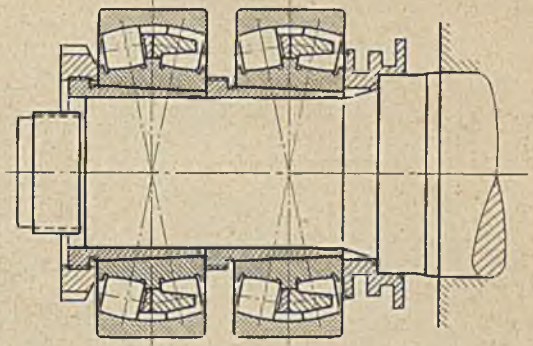


Abb. 50. Abziehen der äußeren Hülse mit Abziehmutter.

4. Ein- und Ausbauen von Querlagern auf kegeliger Wellensitzfläche. Die Montage der Lager auf kegeligen Sitzflächen soll an Hand der Abb. 52, welche die Lagerung der Kurbelwelle und der Stelzenköpfe eines Sägegatters darstellt, beschrieben werden. Die hin- und hergehende Belastung aus dem Antrieb

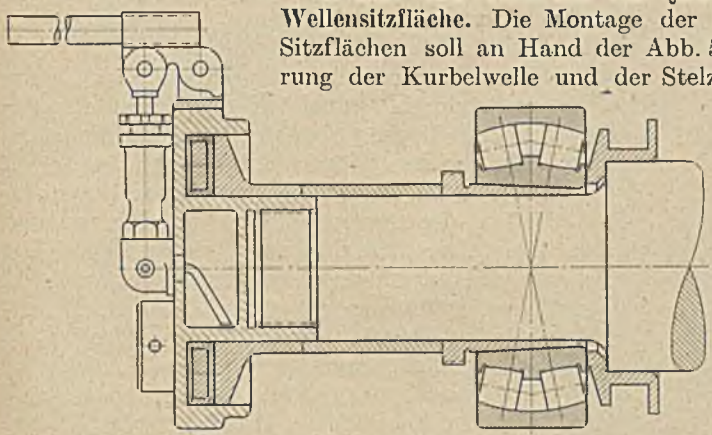


Abb. 51. Hydraulische Presse für den Ein- und Ausbau von Lagern mit Abziehhülse.

und den Massenkräften erfordert einen strammen Sitz des Außenringes. Der Innenring ist in der oberen Schnitthälfte mit Preßsitz auf einem kegeligen Zapfen befestigt. Das Lager wird zunächst durch Druck auf den Außenring unter Zuhilfenahme eines Druckstückes in die Bohrung des einteiligen Stelzenkopfes gepreßt (bei geschlitzten Köpfen kann das Lager zuerst auf den Zapfen geschoben werden). Dann wird der innere, mit einem Filzring versehene Deckel festgeschraubt. Vorher muß das Lager, weil es nach dem Einbau nicht mehr zugänglich ist, sorgfältig mit Fett gefüllt werden. Zusammen mit der Stange wird das Lager auf

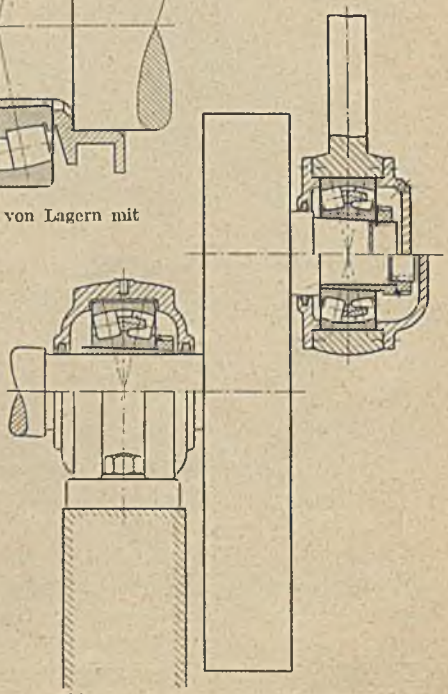


Abb. 52. Lagerung eines Sägegatters.

den kegeligen Schenkel geschoben, soweit dies von Hand möglich ist. Durch Anziehen der Ringmutter wird der Innenring auf den Kegel des Zapfens gepreßt. Es empfiehlt sich aber immer, genau wie bei Lagern mit Spannhülsen oder Abziehhülsen, rechtzeitig die Radialluft beim Aufweiten des Innenringes zu prüfen.

Wegen der hin- und hergehenden Bewegung ist ein verhältnismäßig geringes Spiel erwünscht, das durch eine größere Aufweitung erreicht werden kann. Nach genügendem Anziehen wird die Ringmutter bis in die nächste Sicherung weitergedreht und der Lappen des Sicherungsbleches eingelegt. Der Deckel wird bis zur Hälfte mit Fett gefüllt und verschraubt.

Abb. 53.
Abziehen eines Stelzenkopfes.

Der Ausbau des Lagers ist schwierig, da der Innenring durch den einteiligen, inneren Deckel nicht zugänglich ist. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als eine Vorrichtung anzusetzen entsprechend Abb. 53, die den Innenring durch Druck über die Rollen abzieht, nachdem vorher Deckel, Sicherung und Mutter gelöst werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Zapfen aus der Schwungscheibe zu pressen. Dann ist es möglich, den inneren Deckel zu entfernen und den Zapfen aus dem Innenring zu drücken. Der Ausbau des Lagers aus dem Stelzenkopf muß bei einteiliger Ausführung mit einem ähnlichen Druckstück wie in Abb. 54 durchgeführt werden. Eine Befestigung des Lagers mit einer Abziehhülse (Abb. 52, untere Schnitthälfte) ist vorzuziehen, weil der Ausbau mit einfachen Mitteln erfolgen kann.

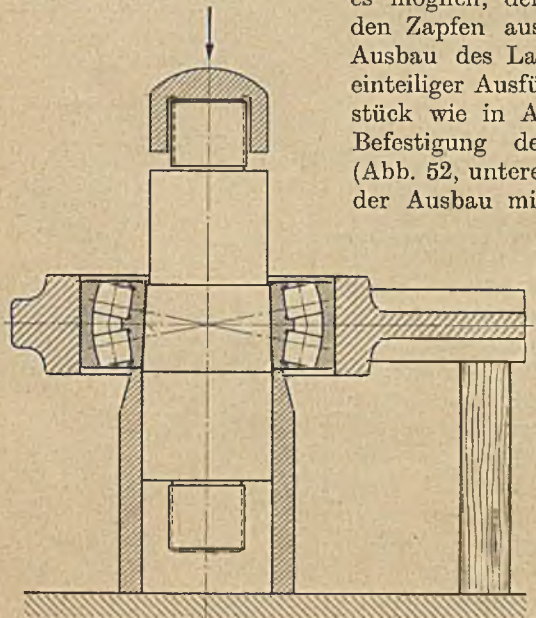


Abb. 54. Ausbau des Stelzenkopflagers.

In Abb. 55 wird der Preßsitz des Zapfens in den Kurbelwangen durch Festklemmen hervorgerufen. Die leicht lösbare Befestigung gestattet in allen Fällen ein Abpressen der Lager mit einer Vorrichtung entsprechend Abb. 54. Das Abdrücken des Lagers kann aber auch in folgender Weise erfolgen: Nach Lockern der Klemmschrauben wird die eine Mutter gelöst und die andere Mutter angezogen, bis die Pressung auf dem Zapfen aufgehoben ist. Wegen des schwierigen Ausbaus von Lagern, die unmittelbar auf einer Kegelfläche sitzen, verwendet man beim Abziehen nach Möglichkeit eine Anordnung entsprechend Abb. 56. Hierbei wird der Innenring nach Lösen der

äußeren Befestigungsmutter durch Keile abgetrieben, die zwischen Labyrinthring und Kurbelscheibe angesetzt werden.

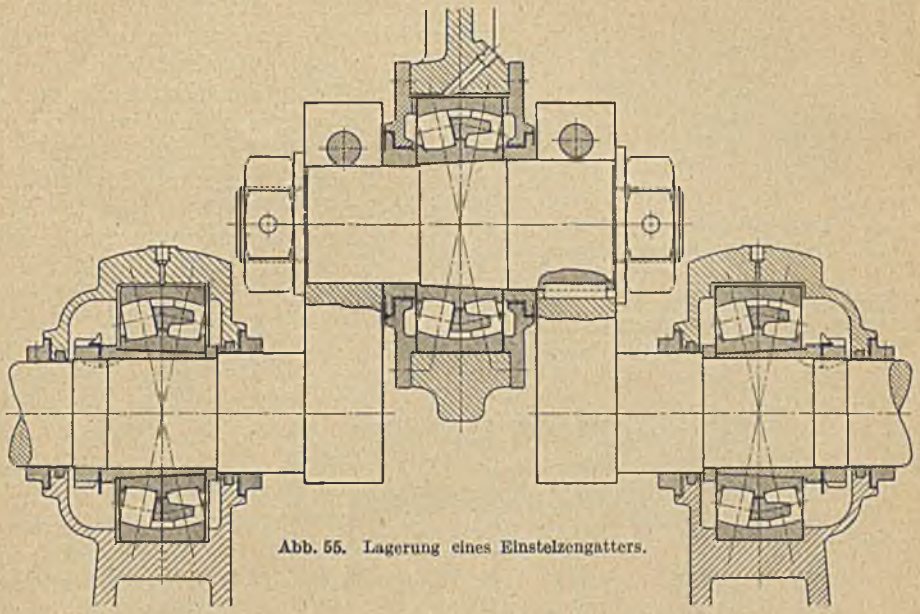


Abb. 55. Lagerung eines Einstelzengatters.

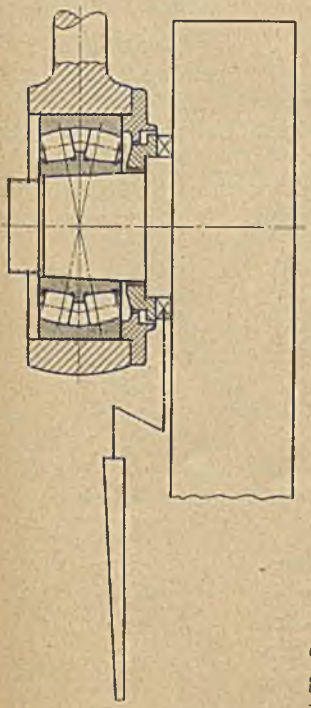


Abb. 56. Ausbau eines Pendelrollenlagers mit kegeligem Sitz durch Keile.

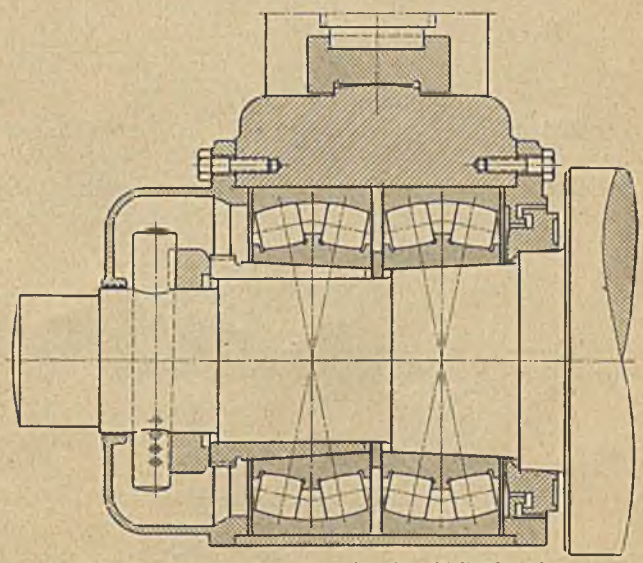


Abb. 57. Lagerung der Stützwalze eines Kaltwalzwerkes.

Auch bei der Walzwerkslagerung (Abb. 57) muß das Lager auf der ganzen Länge des kegeligen Zapfens gleichmäßig am Umfang tragen. Um dies zu prüfen, wird die Bohrung des Lagers mit Farbe dünn bestrichen und das Lager mittels der Montagehülse *1* Abb. 58 mit leichten Schlägen auf den Zapfen ge-

trieben. Mit zwei flachen kegeligen Keilen *3*, die zwischen Walzenballen und Labyrinthring angesetzt werden (Abb. 59), wird das Lager wieder abgepreßt.

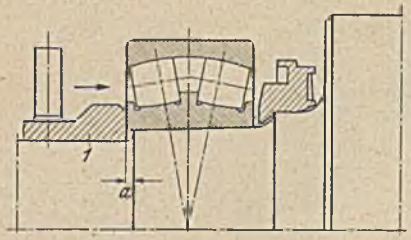


Abb. 58. Aufpressen des inneren Lagers.

Hat das Lager nicht gleichmäßig getragen, so muß der Zapfen nachgearbeitet werden. Wenn die kegeligen Zapfen in Ordnung sind, müssen die Lager zunächst im kalten Zustand leicht aufgeschoben werden, um den Ausgangspunkt für das spätere Aufziehen in warmem Zustand zu finden. Dies geschieht in folgender Weise:

Das innere Lager wird durch einige leichte Schläge mit der Montagehülse *1* auf den kegeligen Zapfen getrieben und der Abstand „*a*" von der Innenringseite bis zum Absatz gemessen (Abb. 58).

Dann wird das äußere Lager bis an den Zwischenring *4* geschoben (Abb. 60), die Abziehhülse mit der Montagehülse *2* durch einige leichte Schläge eingepreßt und der Abstand *b* von der Stirnseite der Abziehhülse bis zur Seitenfläche des Innenringes gemessen.

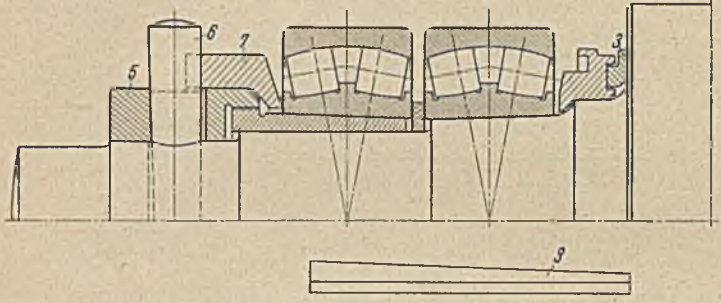


Abb. 59. Abziehen der Hülse.

Das äußere Lager wird dann mit Hilfe der Abziehvorrichtung *5*, *6*, *7* (Abb. 59) und das innere Lager mit den Keilen *3* wieder abgepreßt.

Sämtliche Teile, außer den Lagern, sind in Waschbenzin zu reinigen. Nach diesen Vorarbeiten kann die eigentliche Montage beginnen. Die Sitzstellen der

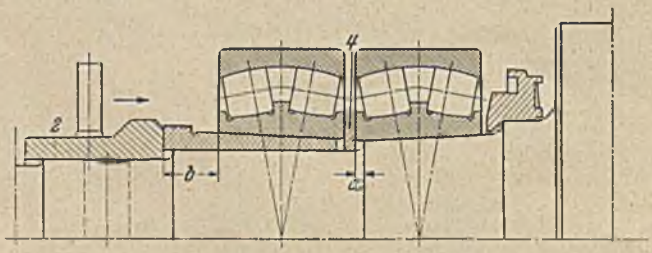


Abb. 60. Versuchsweises Einpressen der Hülse.

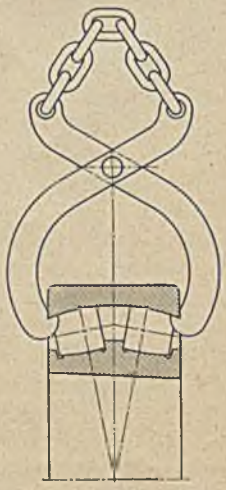


Abb. 61. Transportvorrichtung für ein großes Pendelrollenlager.

Zapfen und der Abziehhülse sind mit Graphit einzureiben. Um das Aufpressen zu erleichtern, werden die Lager in einer Flüssigkeit, die aus 95 Teilen Wasser und 5 Teilen Bohröl besteht, erwärmt. Nachdem die Lager eine Übertemperatur von 55°···60° angenommen haben, werden sie mit einer Greifzange (Abb. 61) aus der Flüssigkeit herausgezogen, abgesetzt und geneigt, damit das Wasser aus dem Außenring wieder herauslaufen kann. Der Einbau wird in

der bereits geschilderten Reihenfolge vorgenommen. Während der Montage muß die Verschiebung nochmals gemessen werden, um den Sitz der Lager zu kontrollieren. Die notwendige Verschiebung ergibt sich aus der Tabelle 2. Sofort nach dem Aufpressen der Lager muß der Befestigungskeil *6* fest eingetrieben und durch einen Kegelstift gegen Lockerung gesichert werden. Nach dem Erkalten der Lager wird die Luft an den unteren Rollen nochmals gemessen, um festzustellen, ob der Innenring die nötige Aufweitung erhalten hat.

Die in Tabelle 2 angegebenen Beträge sind als Mindestwerte anzusehen. Die tatsächliche Luftverminderung ist von der Erwärmung des Lagers und von der elastischen Verformung des Innenringes und des Zapfens abhängig. Es kann vorkommen, daß die angegebenen Werte für die Luftverminderung und axiale Verschiebung nicht genau mit den wirklich erreichten übereinstimmen. Weicht aber die tatsächliche Luftverminderung wesentlich von den Tabellenwerten ab, so ist es zweckmäßig, die Lager wieder auszubauen und nochmals zu montieren. — Nach sorgfältiger Reinigung werden die Gehäuse an den Sitzflächen mit Graphit geschmiert und über beide Lager geschoben und die Deckel angeschraubt. Das Fett muß vor dem Aufbringen der Gehäuse in die Räume zwischen den Rollen und zwischen den Lagern gedrückt werden. Auch in dem vorderen Deckel ist ein gewisser Vorrat unterzubringen. Die Labyrinthe müssen ebenfalls mit Fett gefüllt werden, um nach Möglichkeit das Eindringen von Wasser oder Schmutz zu verhindern. Falls Öl verwendet wird, soll die unterste Rolle bis zu $^3/_4$ bedeckt sein.

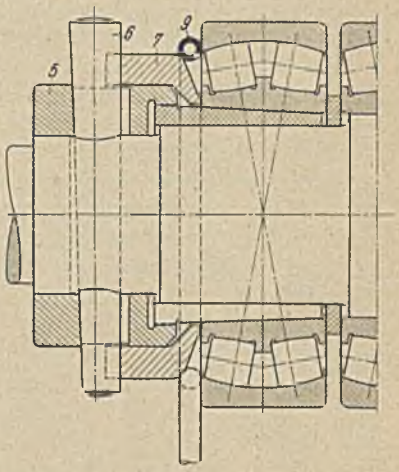


Abb. 62. Anwärmvorrichtung des Innenringes.

Beim Ausbau wird zunächst der äußere Deckel des Gehäuses entfernt und der innere Deckel gelöst, damit das Gehäuse von den Lagern abgezogen werden kann. Dann wird der Befestigungskeil *6* herausgeschlagen. Um den Ausbau zu erleichtern, werden die Lager mittels eines Dampfrohres *9* (Abb. 62) erwärmt, nachdem die Abziehvorrichtung kräftig angespannt ist. Der Dampf strömt aus den am Umfang vorgesehenen Löchern zwischen die Rollen und auf den Innenring. Nach einiger Zeit kann die Abziehhülse herausgezogen werden. Dann wird das Dampfrohr an dem inneren Lager angebracht, das nach genügender Erwärmung des Innenringes mit den Keilen *3* abgetrieben wird.

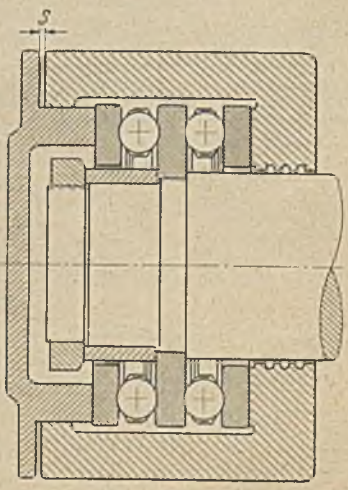


Abb. 63. Einbau von Längslagern.

5. Einbauen von Längslagern. Bei der Montage von Längslagern sollte immer geprüft werden, ob die Laufrillen der Scheiben rechtwinkelig zur Welle liegen. Dies geschieht für die Wellenscheibe zweckmäßigerweise mit einem Zeigergerät beim Drehen der Welle. Außerdem muß untersucht werden, ob die Gehäusescheiben konzentrisch und parallel zur Wellenscheibe liegen. Ein geeignetes Spiel wird dadurch erreicht, daß die Scheiben mittels des Gewindedeckels zunächst ohne Gewalt spielfrei ein-

gestellt werden. Darauf wird der Deckel oder die Mutter je nach der Lagergröße und Gewindesteigung um 10···30 mm, bezogen auf den Umfang der Wellenscheibe, zurückgedreht. Bei einer Bauart mit Flanschdeckel wird die Einstellung des Spieles wie in Abb. 63 vorgenommen. Der Deckel wird leicht angespannt und die Luft S gemessen. Dann wird der Zwischenraum durch eine Scheibe ausgefüllt, die um 0,05···0,10 mm — je nach der Lagergröße — dicker ist als die vorher gemessene Luft. Dieses Einpassen wird am besten vor der Montage bei senkrecht stehendem Gehäuse vorgenommen.

C. Schmierung.

Bei Verwendung von Fett ist es in den meisten Fällen angebracht, das Schmiermittel sofort bei der Montage in das Lagergehäuse einzufüllen. Bei geringer Drehzahl kann fast der ganze freie Raum ausgefüllt werden, wenn ein Heraustreten von Fett keine Störung hervorruft. Bei hoher Drehzahl muß die Fettmenge bedeutend geringer sein, da das Schmiermittel sonst zu stark durchgerührt wird und beim Lauf durch die Dichtung tritt. Als allgemeine Richtlinie kann in den meisten Fällen die Vorschrift befolgt werden, daß etwa $^2/_3$ des freien Raumes neben den Lagern mit Fett zu füllen ist. Das Lagerinnere muß beim Einbau mit Fett vollgepackt werden, damit die Schmierung schon beim ersten Anlauf gesichert ist. Trockene Laufbahnen fressen sofort.

Für solche Lagerungen, die in größeren Mengen gleichartig hergestellt werden, ist im allgemeinen die günstigste Füllung bekannt und festgelegt. Wenn aber neue Maschinen montiert werden, ist es zweckmäßig, die Schmiermittelmenge nach Versuchen zu bemessen, da sonst leicht eine unzulässig hohe Temperatur und eine Verflüssigung des Fettes eintritt. Bei Ölschmierung muß die geeignete Schmiermittelmenge in fast allen Fällen durch eine Laufprüfung festgestellt werden.

Die Auswahl der Öl- und Fettsorte ist von der höchstmöglichen Betriebstemperatur abhängig, die sich bei höchster Drehzahl, Belastung und Raumwärme ergeben kann. Bei Verwendung von Öl spielt die Temperatur allerdings eine geringere Rolle als bei Fett. Im allgemeinen ist jedes gute, säurefreie Maschinenöl verwendbar. Erst bei Temperaturen über 80° ist die Viskosität von größerer Bedeutung. Wenn noch höhere Wärmegrade zu erwarten sind, wie z. B. bei Kurbelwellen- und Pleuellagern von Verbrennungsmotoren, kann die richtige Auswahl eines geeigneten Öles mit genügend hoher Viskosität für die Bewährung der Lager ausschlaggebend sein. Bei besonders hoher Drehzahl sind Wälzlager gegenüber zu viel oder zu dickem Öl empfindlich. In solchen Fällen ist es zweckmäßig, die richtige Ölsorte sorgfältig durch Versuche festzustellen. Bei Temperaturen von etwa 120°, wie z. B. bei Trockenzylindern von Papiermaschinen, müssen sog. Heißdampfzylinderöle benutzt werden.

Tabelle 3. Zweckmäßige Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur.

Verwendbar bei	Viskosität E bei 50° C
Unter 30°	2,5··· 3,5
20··· 40°	3,5··· 4,5
30··· 50°	4,5··· 5,5
40··· 60°	6 ··· 8
50··· 80°	15 ···20
70···125°	25 ···50

In der Tabelle 3 ist die zweckmäßige Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur angegeben.

Fette sind gegenüber Erwärmung wesentlich empfindlicher als Öl insofern, als sich die Konsistenz eines Fettes viel schneller ändert als die Viskosität eines Öles. Sie zerfällt schon bei einer verhältnismäßig niedrigen Temperatur. Im wesentlichen kann man 3 Sorten unterscheiden: vaselineartige Fette, Kalkseifenfette und Natron- oder Alkaliseifenfette. Die ersteren sind nur bis etwa 30° verwendbar, weil sie dann flüssig werden. Sie verändern zwar sonst ihren Zustand nicht und werden wieder fester, wenn die Temperatur sinkt, aber ihre Menge

müßte dann ähnlich gering sein wie bei Öl, wenn nicht eine zu hohe Wärmeentwicklung eintreten soll. Auch der Schmiermittelverlust wird größer, wenn nicht bei der Ausbildung der Abdichtung darauf Rücksicht genommen wurde. Aus diesen Gründen werden vaselineartige Schmiermittel selten benutzt.

Am häufigsten ist die Schmierung mit Kalkseifenfetten, die von 0 bis etwa +50° C Betriebstemperatur verwendbar sind. Gute Kalkseifenfette haben einen beginnenden Tropfpunkt nach Ubbelohde von etwa 85° C und einen Tropfpunkt von 90°···95° C. Der Aschegehalt liegt unter 2% und der Wassergehalt bei etwa 3%. Die untere Grenze des Verwendungsbereiches der Kalkseifenfette wird durch den Gehalt an Wasser bestimmt, das sich bei 0° in Form von Kristallen ausscheidet. Hierbei zerfallen die das Öl enthaltenden Zellen und das Fett wird mehr oder weniger zersetzt. Wird die obere Grenze überschritten, dann zerfällt das Kalkseifenfett in Kalkseife und Öl. Die auf dem Markt befindlichen Fettsorten verhalten sich bei hoher Temperatur verschieden. Es ist daher zweckmäßig, bei Lagertemperaturen über 40° C mit der Auswahl des Fettes besonders vorsichtig zu sein.

Für Temperaturen über +50° C sind Kalkseifenfette ungeeignet. Dann sind Natron- oder Alkaliseifenfette zu verwenden, deren Verwendung bis etwa +70° C bei Dauertemperatur zulässig ist. Das Verhalten der auf dem Markt befindlichen Fettsorten ist jedoch unterschiedlich sowohl in bezug auf die untere als auch obere Grenze. Bei Temperaturen über +70°···80° C ist eine besonders sorgfältige Auswahl der Fettsorte erforderlich. Unter 50° C sind solche Fette geeignet, die eine genügend weiche Konsistenz besitzen. Der beginnende Tropfpunkt nach Ubbelohde liegt bei diesen Fetten etwa bei 120° C. Infolge der höheren Konsistenz enthalten sie meist mehr Seife und weisen deshalb auch einen wesentlich höheren Aschegehalt auf, der bis 4% als zulässig angesehen werden kann. Alkalifette können eine etwa ihrem Gewicht entsprechende Wassermenge aufnehmen, ohne die Konsistenz zu verlieren.

Kommt noch mehr Wasser hinzu, dann wird das Fett flüssig und tritt leicht aus dem Lagergehäuse aus. In solchen Fällen, wie z. B. bei Walzwerken, verwendet man zur Schmierung der Wälzlager eine Mischung von Kalkseifenfett und Bohröl. Diese Emulsion kann beträchtliche Wassermengen aufnehmen (etwa 95%), bevor eine Rostgefahr besteht. Durch die Mischung mit Kalkseifenfett soll die Schmierfähigkeit gewährleistet werden. Neuerdings ist ein Fett auf dem Markt erschienen, das die Fähigkeit hat, in wesentlich größerem Maße als die gewöhnlichen Alkalifette mit Wasser zu emulgieren. Selbst bei zehnmal so großer Wassermenge bleibt dieses Fett noch rostschützend. Dabei löst sich nur ein Teil des Fettes auf, während die Hauptmasse ihre Konsistenz behält. Dieses Fett ist bis etwa 80° verwendbar.

Schmiermittel aus kolloidalem Graphit kommen bei Temperaturen über 200° z. B. bei Trockenkammerwagen in Betracht, wo Öl allein nach kurzer Zeit eintrocknen würde. Einlaufen der Wälzlager mit Graphit dürfte nur in ungewöhnlichen Ausnahmefällen in Erwägung zu ziehen sein. Der Zustand der Lager könnte leicht durch künstlichen Verschleiß verschlechtert werden.

D. Laufprüfung.

Nach der Montage ist der einwandfreie Lauf zu prüfen. Meistens kann von Hand untersucht werden, ob sich die Welle leicht drehen läßt. Hemmungen können durch Fehler des Lagers oder des Einbaues hervorgerufen sein. Wenn die Gehäuse auf unabhängigen Unterlagen montiert werden, kann eine so große Schiefstellung vorkommen, daß die Labyrinthringe schleifen. Dieser Zustand

ruft hohe Temperatur und starken Verschleiß hervor und kann sogar ein Festsitzen der Lagerung zur Folge haben. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, die Labyrinthgänge nach erfolgtem Zusammenbau zu untersuchen, ob an allen Stellen genügend Luft vorhanden ist.

Zu stramm sitzende Filzringe oder Ledermanschetten rufen ebenfalls ein starkes Bremsen hervor. Von Anfang an sollte daher eine zu starke Spannung schleifender Dichtungen vermieden werden. Die anschließende Prüfung muß zunächst bei möglichst geringer Drehzahl erfolgen, um irgendwelche Fehler rechtzeitig vor einer Zerstörung zu erkennen. Dann kann die Geschwindigkeit allmählich gesteigert werden, bis die betriebsmäßige Drehzahl erreicht ist.

In vielen Fällen — vor allen Dingen bei schnellaufenden Spindeln — ist die Leistungsaufnahme oder die erreichte Drehzahl ein gutes Kennzeichen für die einwandfreie Ausführung der Lagerung.

Nach Möglichkeit sollte gleichzeitig eine Temperaturkurve aufgenommen werden, um den einwandfreien Lauf der Lager richtig zu beurteilen. Wenn die Temperatursteigerung gleichmäßig verläuft und die höchste Temperatur als zulässig angesehen wird, kann die Lagerung als in Ordnung befindlich betrachtet werden. Nach einer Betriebszeit von mehreren Stunden, je nach der Lagerart, wird der Höhepunkt erreicht. Dann folgt ein allmähliches Sinken der Temperatur, falls alle Teile in Ordnung sind. Wenn die Temperatursteigerung unwahrscheinlich hoch ist, muß ein Probelauf ohne schleifende Dichtungen vorgenommen werden, um festzustellen, ob etwa die Ursache von den Lagern ausgeht.

Als Richtlinie dafür, welche Temperatursteigerung bei Wälzlagern verschiedener Art erwartet werden kann, sind in dem Konstruktionsheft 4[1] einige Beispiele aufgeführt. Die Werte gelten für den Beharrungszustand bei eingelaufenen Lagern, bester Schmierung und durchschnittlichen Einbau- und Kühlverhältnissen.

IV. Wartung der Wälzlager.

A. Aufgabe der Wartung.

Durch die Wartung soll der betriebsfähige Zustand der Lager so lange wie möglich erhalten werden. Es sind daher alle Einflüsse auszuschalten, die die Lebensdauer in irgendeiner Weise beeinträchtigen können. Im Gegensatz zu Gleitlagern erfordern Lager mit Rollkörpern in den meisten Fällen eine nur unbedeutende Wartung, da sie eine hohe Betriebssicherheit besitzen, wenn die Dichtung zuverlässig eine Verschmutzung verhindert. Der Bedarf an Schmierstoff ist gering. Nur in Ausnahmefällen muß der Wartung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Wenn trotzdem ausführlich auf die Maßnahmen eingegangen wird, die bei der Wartung der Wälzlager zu beachten sind, so geschieht dies, um ein „Zuviel" zu verhindern und das Gefühl für solche Fälle zu stärken, bei denen größere Vorsicht am Platze ist. Außerdem werden Wege gezeigt, um die Beschädigung eines Lagers rechtzeitig zu erkennen. Dies ist wegen der Betriebssicherheit und mit Rücksicht auf die Kosten von Bedeutung, da eine im Anfangszustand erkannte Beschädigung die Gefahr einer plötzlichen Betriebsstockung beseitigt und in den meisten Fällen die Ursache mit Sicherheit beurteilen läßt, ganz abgesehen davon, daß eine Wiederinstandsetzung des Lagers ermöglicht wird. Aus diesem Grunde sind in einem besonderen Abschnitt die wichtigsten Zerstörungsursachen an Hand von Bildern ausführlich erläutert.

[1]) Gestaltung von Wälzlagerungen. Konstruktionsbuch Heft 4. Berlin: Julius Springer.

Die Wartung der Wälzlager soll sich beziehen

auf die Beobachtung des Zustandes der Lager,
auf die Schmierung und Reinigung der Lager und
auf die Untersuchung und Instandsetzung.

Auch wenn bei der Laufprüfung unmittelbar nach der Montage oder bei der Ingangsetzung der Maschine ein einwandfreier Lauf der Lager festgestellt wurde, kann es zweckmäßig und manchmal sogar notwendig sein, sich laufend von ihrer einwandfreien Beschaffenheit zu überzeugen. Dies muß entweder im Betrieb oder im ausgebauten Zustand geschehen. Bei allen stationären Maschinen ist eine Kontrolle der Lager während des Betriebes in den meisten Fällen dadurch möglich, daß das Geräusch oder die Temperatur der Lager beobachtet wird.

B. Überwachen der Lager.

Durch Abhören der Lager kann eine gute Kontrolle ausgeübt werden. Schon ganz geringfügige Fehler sind feststellbar. Voraussetzung ist aber eine gewisse Übung, um diejenigen Geräusche ausscheiden zu können, die nicht von den Wälzlagern herrühren. Wieweit die Empfindlichkeit beim Abhören getrieben werden kann, geht daraus hervor, daß auch ganz kleine Schälungen in der Größe eines Stecknadelkopfes bei den Laufprüfungen der Wälzlagerfabriken regelmäßig entdeckt werden. Selbst wenn die vom Lauf der Wälzlager herrührenden Töne durch die übrigen Maschinengeräusche überlagert werden, ist dieses Verfahren anwendbar, weil ein geübtes Ohr meistens in der Lage ist, eine genügende Unterscheidung vorzunehmen. Da die Prüfung mit ganz einfachen Mitteln vorgenommen werden kann, sollte von ihr viel mehr Gebrauch gemacht werden, als es heute geschieht. Die im freien Handel käuflichen Hörrohre, die das Geräusch weitergeben, sind vielfach nicht erforderlich. Wichtig ist, daß möglichst ein und dieselbe Person ständig mit dieser Aufgabe betraut wird, damit sich das Gehör auch an feine ungewöhnliche Geräusche gewöhnt. Da die Prüfung nur eine kurze Zeit erfordert und mit einfachen, billigen Mitteln vorgenommen werden kann, wenn die Lagerstellen überhaupt zugänglich sind, sollte sie ganz besonders bei großen Lagern und solchen Lagerstellen, die für die Aufrechterhaltung eines Betriebes wichtig sind, angewendet werden. Bei ganz großen Lagern ist das Objekt in preislicher Hinsicht so bedeutend, daß es sich lohnt, eine Beschädigung im Anfangsstadium zu erkennen. Damit ist in den meisten Fällen ein Austausch des Lagers in einer den Betrieb nicht störenden Zeit und eine Instandsetzung durchführbar. Eine überraschende Stillegung der Maschine kann vermieden werden.

Eine andere Möglichkeit, den Zustand der Lager zu erkennen, besteht darin, die Temperatur laufend zu verfolgen. Auch dieses Verfahren läßt sich normalerweise nur bei stationären Maschinen durchführen, wenn die Betriebsverhältnisse nicht allzusehr schwanken, weil sonst ein Vergleich zu falschen Schlußfolgerungen Anlaß geben kann. Grundsätzlich sollte man sich nicht mit dem Ablesen der Temperatur zu irgendeinem Zeitpunkt begnügen, sondern die festgestellten Werte in Form einer Kurve auftragen, weil dann ein Vergleich mit einem weiter zurückliegenden Zustand vorgenommen werden kann. Wenn irgendeine Störung auftritt, wird die Temperatur nicht nur höher, sondern auch unregelmäßiger. Bei betriebswichtigen Maschinen und bei großen Lagern sollte man daher neben der Abhörkontrolle die Temperaturprüfung einschalten. Sie ist besonders dann zu empfehlen, wenn das Abhören nicht durchgeführt werden kann.

Bei den meisten Fahrzeuglagern kann weder die Temperaturkontrolle, noch die Geräuschprüfung vorgenommen werden. In diesen Fällen bleibt dann nichts

anderes übrig, als von Zeit zu Zeit die Lager auszubauen und auf ihren Zustand zu untersuchen. Dies ist immer notwendig, wenn die Betriebssicherheit durch einen Lagerschaden gefährdet werden kann, wie z. B. bei Achslagern von Schienenfahrzeugen. Oft kann man sich damit begnügen, die Deckel zu öffnen oder die Gehäuse zu entfernen. Wenn auch das Lager nicht vollkommen besichtigt werden kann, so ist es doch möglich, den Zustand der Laufbahnen wenigstens teilweise zu erkennen. Bei einer Schälung oder einer Ausbröckelung werden nämlich die Splitter von den Rollkörpern überwalzt und rufen feine Eindrücke hervor. Diese sind ein Zeichen dafür, daß eine weitergehende Untersuchung erforderlich ist. Vor einem Ausbau des Lagers sollte man dann nicht zurückschrecken. Auch der Zustand des Fettes oder Öles kann einen Anhalt geben für bestimmte Fehler. Stark verschmutztes Schmiermittel läßt darauf schließen, daß entweder von außen Schmutz eingedrungen ist oder ein Verschleiß in den Lagern eingetreten ist. Eine dunkle Farbe des Fettes ist an sich noch kein Beweis für eine Beschädigung, solange das Fett noch durchsichtig ist, da die Einwirkung der Temperatur oft eine Verfärbung herbeiführt. Anders ist es jedoch, wenn beim Zerreiben des Fettes auf der Hand ein schwarzer Fleck festgestellt werden kann. Bei einem Bruch oder einem Verschleiß mischen sich die feinen Spänchen mit dem Schmiermittel und sind in diesem deutlich erkennbar. Bei Ölschmierung kann die Kontrolle des Lagerzustandes im allgemeinen dadurch geschehen, daß das verbrauchte Öl abgelassen wird. Aus seinem Aussehen ist ein Rückschluß auf den Zustand des Lagers möglich. Diese Prüfung sollte nicht nach längerem Stillstand, sondern während des Betriebes oder unmittelbar nach dem Stillsetzen der Maschine erfolgen, damit die Verunreinigungen keine Zeit haben, sich abzusetzen. Aus diesem Grunde muß die Ölablaßschraube an der tiefsten Stelle des Gehäuses angebracht werden. Diese Kontrolle ist vor allen Dingen bei großen oder schwer zugänglichen Lagern zu empfehlen, über deren Zustand man laufend ein klares Bild haben möchte.

Wenn auch in den meisten Fällen eine Kontrolle über die Laufzeit der Lager schwer durchführbar sein dürfte, soll doch an dieser Stelle auf den großen Wert einer solchen Feststellung hingewiesen werden, weil damit nicht nur Rückschlüsse auf die mögliche Zerstörungsursache, sondern auch ein Vergleich der Qualität möglich sein würde. Die Voraussetzung dafür ist aber, daß die Laufzeit wirklich einwandfrei festgestellt werden kann. Schätzungen sind nicht nur unbrauchbar, sondern irreführend. Irgendwelche Maßnahmen für eine Änderung können davon nicht abhängig gemacht werden. Bei wirklich einwandfreier Beobachtung würde man aber ein gutes Bild über die Streuung der Lebensdauer erhalten und Untersuchungen einleiten können über die Möglichkeiten, die eine Verbesserung in dieser Beziehung ergeben können.

C. Nachschmieren und Reinigen der Lager.

Die Nachschmierung ist in gewissen Zeiträumen in Abhängigkeit von den Betriebsverhältnissen vorzunehmen. Im allgemeinen ist die Gefahr einer zu reichlichen Füllung größer als ein Schmiermittelmangel. Wenn die Dichtung ein Heraustreten verhindert, ist der Verbrauch an Öl oder Fett außerordentlich gering. Die Nachschmierung kann daher in großen Zeiträumen erfolgen. Sie sollte immer von der Wirkung der Dichtung abhängig gemacht werden. Wenn das Schmiermittel nicht durch die Dichtung austreten kann und die Temperatur niedrig ist, bei Kalkseifenfetten unter 50° und bei Alkalifetten unter 70°, so ist mit einer Veränderung der Qualität des Fettes erst nach langer Laufzeit zu rechnen.

Man kann dann unbedenklich für die Zeit zwischen einer und der anderen Nachschmierung 50···100 Millionen Umdrehungen und mehr zugrunde legen, je nach der Lagerart und Lagergröße. Dies bedeutet bei 1000 U/min, also 60000 Umdrehungen in der Stunde, eine Betriebszeit von etwa 800 bzw. 1600 Stunden. In vielen Fällen wird eine bedeutend längere Laufzeit erreicht werden können. Dies sollte aber durch Untersuchung der Fettmenge und des Zustandes des Schmiermittels festgestellt werden. Es ist immer zweckmäßig, nicht von starren Richtlinien auszugehen, sondern sich den gegebenen Verhältnissen so gut wie möglich anzupassen.

Bei neueren Versuchen mit Lagern für ortsfeste Elektromotoren und normale Betriebsverhältnisse wurde festgestellt, daß verhältnismäßig hoch belastete Lager in kürzeren Zeitabständen geschmiert werden müssen als gering beanspruchte Lager. Für Rollenlager waren im allgemeinen kürzere Schmierperioden erforderlich als für Kugellager. Auch die Bauart der Käfige beeinflußt die Zeit zwischen den Nachschmierungen. Gestanzte Käfige sind wegen ihres geringen Gewichtes, ihrer kleinen Gleitflächen und großen Hohlräume besonders gut für Fettschmierung geeignet und ermöglichen daher längere Schmierperioden als Massivkäfige.

Wenn man die Zeit zwischen je 2 Nachschmierungen in Anzahl Umdrehungen ausdrückt, ergeben sich für gewöhnliche Betriebsverhältnisse (ortsfeste Motoren) die in Tabelle 4 angegebenen Regeln.

Tabelle 4. Zeit zwischen je 2 Nachschmierungen in Umdrehungen.

Lagerart	Schmierperiode
Pendelrollenlager mit Massivkäfig, mittelschwere Reihe	etwa $50 \cdot 10^6$ Umdr.
Zylinderrollenlager mit Massivkäfig, mittelschwere Reihe	etwa $100 \cdot 10^6$ Umdr.
Kugellager mit Massivkäfig, mittelschwere Reihe	etwa $200 \cdot 10^6$ Umdr.
Kugellager mit gestanztem Blechkäfig, mittelschwere Reihe . . .	etwa $300 \cdot 10^6$ Umdr.

Aus der Abb. 64 ist die Laufzeit für ein Lager mit $d = 100$ mm zwischen 2 Schmierungen in Monaten ersichtlich bei Tag- und Nachtbetrieb und $n = 300 \cdots 3000$ U/min.

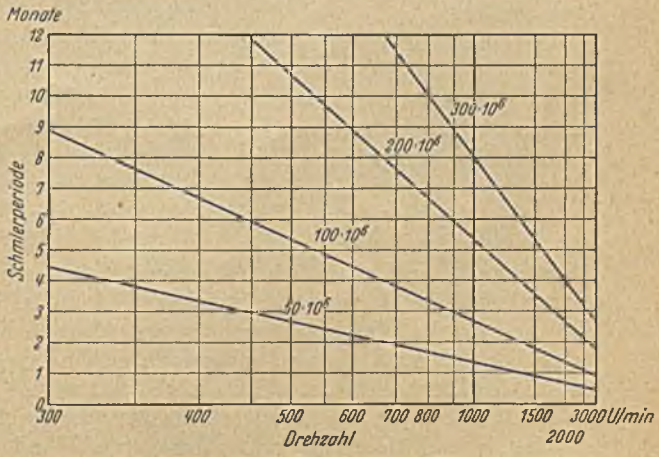


Abb. 64. Schmierperioden in Monaten für verschiedene Lagerarten bei Tag- und Nachtbetrieb.

Wenn die Dichtung einwandfrei arbeitet und die Drehzahl gering ist, wird ein Ersatz des Fettes nur durch seine Haltbarkeit bestimmt. In staubigen Betrieben ist eine häufige Nachschmierung angebracht. Falls die Gehäuse mit Wasser in Berührung kommen, ist eine Erneuerung des Fettes nach kurzer Zeit zweckmäßig.

Bei Lagern mit geringer Drehzahl kann das Gehäuse zur Verbesserung der Dichtung mit Fett vollgepackt und oft nachgeschmiert werden, um einen Überdruck zu erzeugen, der das Eindringen von Wasser oder Staub verhindert. Die Betriebsverhältnisse bestimmen daher sowohl die Laufzeit von einer Nachschmierung bis zur anderen als auch die Fettmenge. Es ist deshalb

nicht möglich, allgemein gültige Vorschriften aufzustellen. Eine gewisse Richtlinie besteht in der Regel, daß die Fettmenge um so kleiner sein soll, je höher die Drehzahl ist. Keinesfalls ist es angebracht, mehr Fett in ein heiß laufendes Lager zu drücken, da hierdurch die entgegengesetzte Wirkung wie bei Gleitlagern hervorgerufen wird. Eine große Fettfüllung ist nur zulässig, wenn die Drehzahl gering ist und der durch die Dichtung austretende Schmierstoff keinen Schaden anrichten kann. Am besten ist es daher, für jede Lagerstelle einen Schmierplan aufzustellen, in welchem die Zeit der Nachschmierung und die Menge angegeben ist.

Bei Ölschmierung liegen die Verhältnisse einfacher. Wird ein Tropföler verwendet, so muß dafür gesorgt werden, daß im Anfang die richtige Menge eingestellt wird. Läuft das Öl um, so kommt es ebenfalls darauf an, schon bei der Inbetriebsetzung der Maschine die Schmiermittelmenge so zu regeln, daß der günstigste Zustand erzielt wird. In den meisten Fällen ist es zweckmäßig, einen Ölstandsanzeiger anzubringen, der die kleinste und größte zulässige Menge erkennen läßt. Dabei darf man nur vom Stillstand der Maschine ausgehen, weil ein großer Teil des Öles in das Lager hineingezogen wird, sobald die Maschine in Betrieb gesetzt wird. Wenn die Ölmenge weder durch einen Ölstandsanzeiger noch durch einen Tropfölbehälter zu erkennen ist, muß darauf geachtet werden, ob die Dichtung einwandfrei arbeitet. Ist dies der Fall, dann kann die zur Verfügung stehende Ölmenge lange Zeit benutzt werden. Ein interessantes Beispiel dafür ist die Spinnspindel, bei welcher eine Füllung für 5000 Betriebsstunden genügt, trotzdem die Drehzahl etwa 10000 U/min beträgt. In diesem Falle werden also ohne Nachfüllung 3000 Millionen Umdrehungen erreicht. Bei Lagerstellen in staubigen Betrieben müssen die Labyrinthgänge von Zeit zu Zeit mit Fett gefüllt werden. Diese Schmierung ist unabhängig von der der Lager und muß in viel kürzeren Zeiträumen erfolgen, weil das nachgedrückte Fett den Spalt ausfüllen und verschmutztes Fett wieder herausdrücken soll. Die Nachschmierung des Labyrinths muß aber während der Drehung vorgenommen werden, da sonst nur der in der Nähe des Schmierloches liegende Teil des Spaltes neues Fett erhält.

Die für die Schmierung vorgesehene Ölsorte wird meistens von seiten des Herstellers der Maschine vorgeschrieben. Wenn dies nicht der Fall ist, kann jedes gute Maschinenöl zur Anwendung kommen. Eine Schwierigkeit bei der Beschaffung besteht nicht, weil genügend brauchbare Ölsorten auf dem Markte sind. Bei sehr hoher Drehzahl und hoher Temperatur sind Sonderöle erforderlich. In dem ersteren Falle kommen sog. Spindelöle und in dem letzteren Heißdampfzylinderöle in Betracht, deren genaue Charakteristik von den Herstellern der Maschine angegeben werden sollte.

Die im Handel erhältlichen Fettsorten sind von unterschiedlicher Güte. Auch ein und dieselbe Marke ist nicht immer beständig. Deshalb ist es empfehlenswert, nur die von der Maschinenfabrik vorgeschlagene Fettsorte zu verwenden. Wenn keine Richtlinien vorliegen, sollte man sich an die Wälzlagerfirmen wenden, um ein brauchbares Fett zu erhalten. Entscheidend für die Wahl des einen oder anderen Fettes ist die Lagertemperatur (s. Abschn. III, C: Schmierung, S. 42).

Das Nachfüllen von Fett kann von Hand geschehen, wenn die Gehäuse durch Abnehmen eines Deckels oder der Gehäuseoberhälfte leicht zugänglich sind. Wurden Schmieröffnungen vorgesehen, dann empfiehlt sich die Verwendung einer Schmierpresse. Für diese Pressen werden besondere Nippel geliefert, die sich unter dem Druck des Fettes öffnen und unter Federdruck wieder schließen, sobald der Druck zurückgeht. Beim Ansetzen der Schmierspritze sind die Nippel

vorher zu reinigen, damit der darauf sitzende Staub nicht in das Lagergehäuse gedrückt wird. Schmierschrauben sollten an einem Kettchen gesichert sein, da bei einem Verlust damit zu rechnen ist, daß sie lange Zeit nicht ersetzt werden. Ganz besondere Vorsicht ist geboten, wenn die Gehäuse geöffnet werden müssen. Dann sollte die Außenfläche erst mit einer Drahtbürste gereinigt werden. Offenstehende Gehäuse sind sorgfältig vor Staub und Feuchtigkeit zu schützen.

Die meisten Schmiergeräte sind als Hochdruckpressen ausgebildet, bei denen der Druck nur unter Verwendung eines Differentialkolbens mit einer Kolbenfläche von etwa $^1/_4$ cm² erreicht werden kann. Das Schmiervermögen derartiger Pressen ist daher ziemlich gering, etwa 1 ccm je Kolbenhub. Der Druck wird also auf Kosten der Schmiermenge erzielt. Zur Schmierung von Wälzlagern genügt aber im allgemeinen ein Druck von 2···3 at. Nur in einzelnen Fällen ist es notwendig, das Fett durch Kanäle oder Rohrleitungen zu drücken. Dann dürfte der erforderliche Druck kaum mehr als 50 at betragen. Diesen Verhältnissen wird die in Abb. 65 dargestellte Schmierpresse gerecht, da sowohl mit 3 at als auch mit 50 at gearbeitet werden kann, wenn das auf der Kolbenspindel befindliche Gewinde in Eingriff gebracht wird. Durch das Drehen der Riffelscheibe *a* um 180° nach rechts oder links läßt sich die Spindel ein- oder ausrücken. Ist die Spindel ausgeschaltet, dann kann der Kolben mittels des Griffes *b* von Hand verschoben und eine große Schmiermittelmenge gefördert werden. Für einen Druck von mehr als 3 at kann die Schmierpresse durch einige einfache Handgriffe umgestellt werden. Die Schmierpresse wird daher normalerweise mit je einer Düse für Niederdruck und Hochdruck geliefert. Sie faßt etwa 200 g.

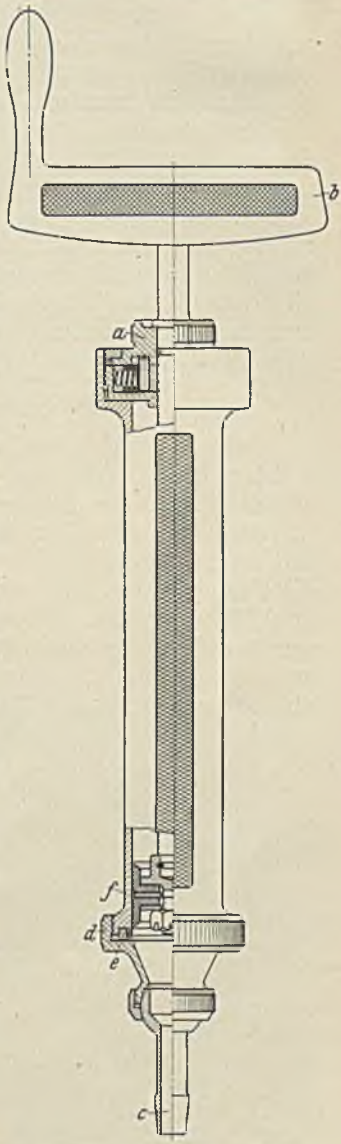


Abb. 65. Schmierpresse für 3 at und 50 at.

Bei Ölschmierung ist ein Ausbau der Lager zum Zwecke der Reinigung nicht erforderlich, weil es möglich ist, das Lager während des Betriebes oder im Leerlauf gründlich mit leichtflüssigem Öl durchzuspülen. Meistens genügt es sogar, das verbrauchte Öl durch neues zu ersetzen. Ein Ausbau der Lager kommt daher bei Ölschmierung nur in Frage, wenn der Zustand des Lagers einwandfrei festgestellt werden muß.

Wenn die Dichtung eine Verschmutzung des Schmiermittels zuverlässig verhindert, genügt das Nachpressen von neuem Fett, solange das alte noch brauchbar ist. Die Reinigung ist nicht zu umgehen, wenn irgendeine Verschmutzung beobachtet wird, weil sich sonst nach kurzer Zeit Verschleiß bemerkbar macht. Man sollte sich dann nicht damit begnügen, das alte Fett zu entfernen, sondern eine gründliche Säuberung des ausgebauten Lagers vornehmen.

Als Waschmittel kann Benzin, Benzol, Trichloräthylen oder Petroleum ver-

wendet werden, das letztere nur, wenn es vollkommen säurefrei ist. Trichloräthylen kann auch in Räumen mit offenem Feuer angewendet werden, da es nicht brennbar ist. Die Flüssigkeit muß häufig filtriert werden, damit die ausgewaschenen Verunreinigungen nicht wieder in die Lager kommen können. Wenn keine selbsttätigen Wascheinrichtungen zur Verfügung stehen, sollten Behälter mit einem Doppelboden verwendet werden, damit das Aufrühren des unten abgesetzten Schmutzes unmöglich gemacht wird. Vorrichtungen solcher Art lohnen sich immer im Interesse der Betriebssicherheit. In solchen Betrieben, die ständig eine größere Anzahl von Lagern zu untersuchen und zu reinigen haben, sind Apparate am Platze, bei denen das Waschmittel unter Druck den rotierenden Lagern zugeführt werden kann und eine ständige Filtrierung des Waschmittels erfolgt.

Nach dem Auswaschen müssen die Lager so gut wie möglich abgetrocknet und sofort eingeölt werden, damit ein Verrosten vermieden wird. Lager, die nicht anschließend eingebaut werden, sind vor Staub und Feuchtigkeit zu schützen und in einem trockenen Raum aufzubewahren. Viele Lager werden dadurch unbrauchbar, daß sie offen in der Werkstatt herumliegen (s. auch Abschn. III A).

D. Lagerschäden und ihre Ursachen.

Einleitung. Als Ursache für die Zerstörung von Wälzlagern werden in den meisten Fällen Werkstoff- oder Herstellungsfehler angenommen. Jahrelange, eingehende Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß die Güte des Werkstoffes und die Sorgfalt der Herstellung der Wälzlager einen hohen Grad von Vollkommenheit erreicht haben. Da es auch für den Verbraucher von großer Wichtigkeit ist, die Ursachen der häufigsten Schäden zu kennen, sollen im folgenden an Hand von Bildern typische Fälle gezeigt und ihre Ursache und Wirkung beschrieben werden. Sicherlich ist es für eine Maschinenfabrik wichtiger, die Fehler wirklich zu erkennen, um ähnliche Beanstandungen zu vermeiden, als für das eine oder andere Lager kostenlos Ersatz zu erhalten, durch den zwar der Einzelfall kaufmännisch erledigt ist, ohne daß aber die Ursache des Übels beseitigt wäre.

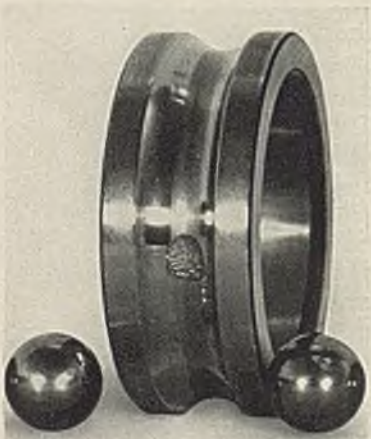


Abb. 66. Schälung bei dem Innenring eines Radiaxlagers.

Oft stößt man auf die Ansicht, daß die Gefahr eines Bruches der Rollkörper sehr groß ist. Demgegenüber kann darauf hingewiesen werden, daß die Bruchfestigkeit 20···30 mal so hoch ist wie die größte Belastung einer Kugel unter normalen Verhältnissen. Schon Stribeck fand, daß die Bruchlast in keinem Verhältnis steht zur Tragfähigkeit der Lager. Wenn Brüche von Kugeln oder Rollen vorkommen, so ist dies in den weitaus meisten Fällen die Folgeerscheinung einer anderen Beschädigung.

1. Schälung. Die wichtigste, aber nicht häufigste Erscheinung ist die durch normale Werkstoffbeanspruchung eintretende Ermüdung. In der Abb. 66 ist der Anfangszustand einer solchen Ermüdung zu sehen. Sie wird mit Schälung bezeichnet, weil sich zuerst an einer örtlich begrenzten Stelle innerhalb der Laufspur eine dünne Schicht der Oberfläche ablöst. Es handelt sich zunächst um einen ganz winzigen Werkstoffeinbruch, der sich jedoch bald verbreitert und schließlich über die ganze Be-

lastungszone im Bereich der Laufspur verläuft. Der Beginn der Schälung wird in den wenigsten Fällen rechtzeitig erkannt, obwohl es bei einiger Übung möglich ist, solche Fehler durch Abhören früh genug zu entdecken. Meistens ist die Beschädigung schon so weit fortgeschritten, daß die eigentliche Ursache nicht mehr gefunden werden kann, um so weniger, als auch die übrigen Teile des Lagers sofort in Mitleidenschaft gezogen werden.

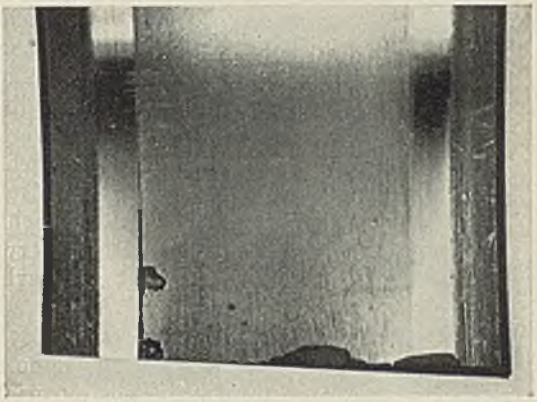


Abb. 67. Beginn der Schälung am Rande der zylindrischen Laufspur eines Außenringes.

In vielen Fällen tritt die Werkstoffermüdung vor der rechnungsmäßig zu erwartenden Lebensdauer ein, wenn durch äußere Einflüsse, z. B. Bearbeitungs- oder Einbaufehler, verhältnismäßig hohe Zusatzbelastungen hervorgerufen werden. In den Abb. 67 und 68 sind die Laufringe von Zylinderrollenlagern gezeigt, bei denen die Schälung durch Kantenbelastung entstanden ist, offenbar infolge nicht gleichachsiger Lage der Sitzflächen. Man sieht deutlich, daß die Zerstörung von der Kante der Laufbahn ausgegangen ist. Solche Fehler können bereits nach kurzer Laufzeit erkannt werden, da sich die Laufspur infolge der ungleichmäßigen Lastverteilung an der einen Kante stärker ausprägt. Derartige Fehler wirken sich besonders bei solchen Lagern aus, die keine Schiefstellung der Welle zulassen. Bei Verwendung von starren Rollenlagern ist daher besondere Sorgfalt auf die Bearbeitung der Zubehörteile, auf die Montage und auf die Vermeidung von Wellenbiegungen zu legen, da schon geringfügige Abweichungen zu hohen Kantenbelastungen und damit zu frühzeitiger Ermüdung des Werkstoffes führen können. Bei Zylinderrollenlagern und Kegelrollenlagern mit einem schwach balligen Laufring ist diese Gefahr behoben. Vorzeitige Ermüdung des Werkstoffes kann auch eintreten, wenn die Lager in Achsrichtung oder radial verklemmt werden. Die Folge hoher axialer Belastung ist aus der Abb. 69 zu erkennen. Die durch die Schälung deutlich sichtbare Laufspur liegt stark nach der einen Seite versetzt im Bereich der Einfüllnut. Bei ovalverklemmten Ringen liegen die Schälungen an gegenüberliegenden Stellen, wie aus der Abb. 70 zu ersehen ist. Die Gefahr einer solchen Beschädigung ist besonders groß bei geteilten Gehäusen, wenn die Bohrung kleiner ist als der Mantel des Außenringes. Derartige Gehäuse sind daher nur verwendbar, wenn ein loser Sitz der Außenringe zulässig ist.

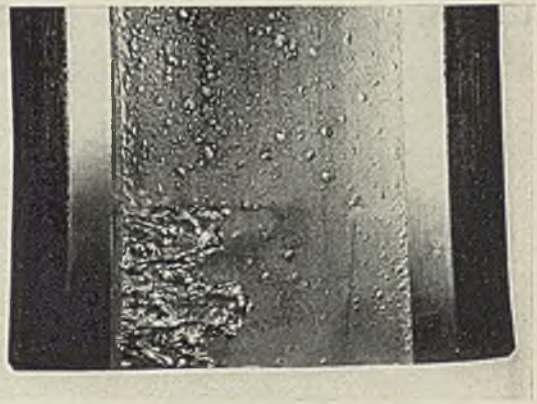


Abb. 68. Weiter fortgeschrittene Schälung am Rande der zylindrischen Laufspur eines Außenringes.

Wie notwendig es ist, daß die Ringe und Scheiben möglichst gleichmäßig am ganzen Mantel aufliegen, zeigen die Abb. 71 und 72. Infolge Unachtsamkeit beim Einbau wurde ein großer Span zwischen Außenring und Gehäuse nicht entfernt. Die Form desselben ist am Mantel deutlich abgezeichnet. Da die Aufnahme der Belastung nur an dieser Stelle erfolgen konnte, zeigte sich nach ganz kurzer Zeit in der Laufbahn eine Schälung, die von der Stelle der höchsten Beanspruchung unterhalb des Spanes ausgeht und sich entsprechend dem Druckverlauf nach der anderen Seite zu verkleinert. Neben der Schälung sind viele feine Vertiefungen zu sehen. Es handelt sich um Überwalzungen einzelner Splitter, die aus der Schälungszone stammen. Ähnliche Beschädigungen müssen erwartet werden, wenn der Außenring infolge schlechter Bearbeitung des Gehäuses ungenügend unterstützt wird.

Abb. 69. Ringsherum laufende, seitlich versetzt liegende Schälung bei einem Innenring mit Einfüllnut.

Die Laufringe von Zylinderrollenlagern können gegenseitig verschoben werden, ohne daß eine Vergrößerung der Luft eintritt. Hierin liegt ein wichtiger Vorteil, aber auch eine große Gefahr für eine Verletzung der Laufbahnen, wenn die Ringe bei der seitlichen Bewegung verkantet werden. Eine ganz besondere Sorgfalt ist bei der Montage dieser Lager erforderlich, wenn die Laufringe gleichzeitig mit anderen Teilen zusammengebaut werden und ein genaues Ausrichten schwierig ist. Werden die Rollen verkantet auf der Laufbahn verschoben, dann sind Beschädigungen, wie sie in Abb. 73 dargestellt sind, nicht zu vermeiden. Selbst wenn die Verletzungen geringfügig sind, führen sie bald zu Schälungen, die sich mehr und mehr verbreitern (Abb. 74). Es kann daher nicht dringend genug angeraten werden, bei der Montage von Zylinderrollenlagern äußerst vorsichtig zu sein.

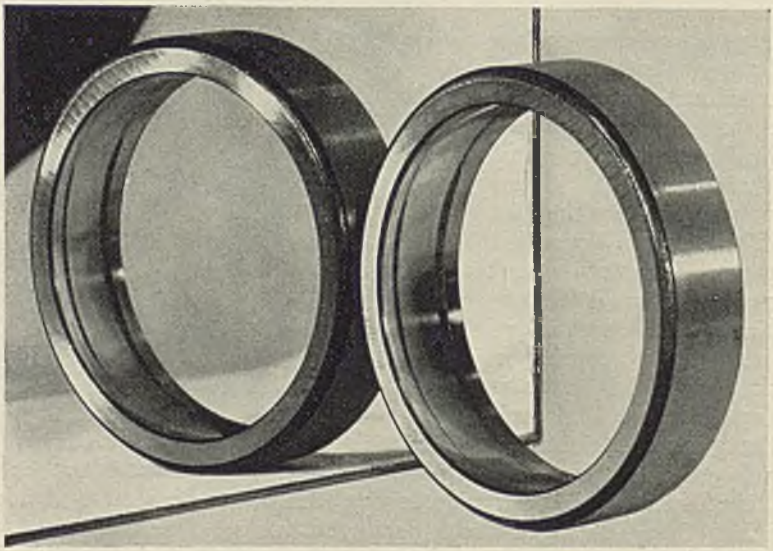


Abb. 70. Diametrale Schälungen in der Laufbahn eines Pendelkugellager-Außenringes (links Spiegelbild).

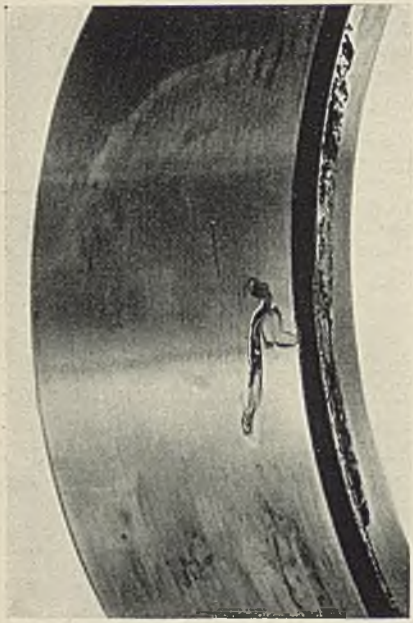


Abb. 71. Abdruck eines Spans auf dem Mantel eines Zylinderrollenlagers.

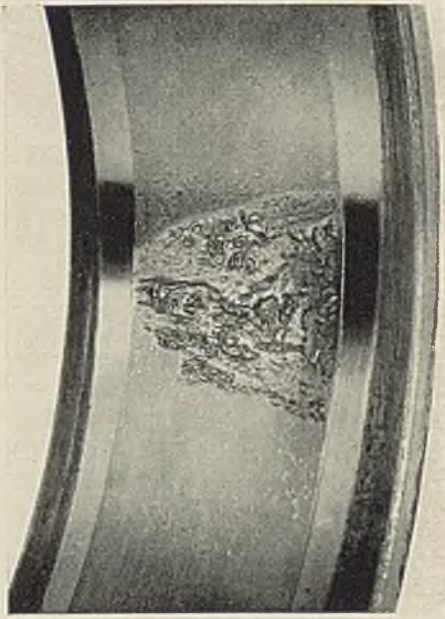


Abb. 72. Der Lage des Spans Abb. 71 entsprechende Schälung.

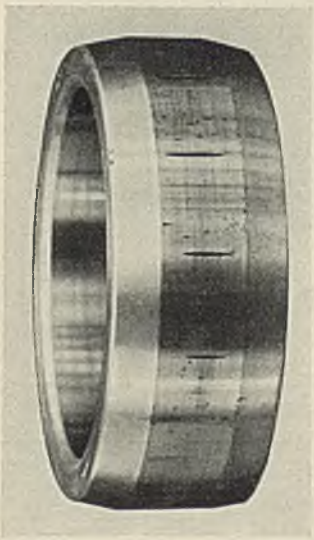


Abb. 73. In Rollenabstand liegende Verletzungen der Laufbahn eines Innenringes.

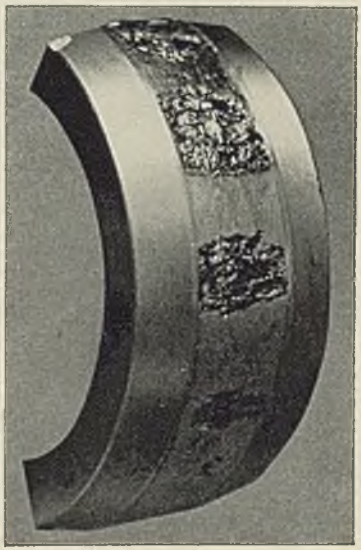


Abb. 74. Weit fortgeschrittene Ausbröckelung der beim Einbau verletzten Stellen der Laufbahn.

Wenn der Druck zum Einpressen des Innenringes über den Außenring und die Kugeln auf den Innenring erfolgt, bilden sich leicht in den Laufbahnen kleine Dellen. Die Gefahr einer solchen Beschädigung der Laufbahnen liegt dann besonders nahe, wenn das Lager beim Einbau verkantet wird und infolgedessen

zum Aufpressen große Kräfte erforderlich sind. Vorsicht ist auch geboten, wenn beide Laufringe mit Rücksicht auf die Betriebsverhältnisse verhältnismäßig stramm sitzen müssen. Die kleinen Vertiefungen rufen zunächst ein starkes Geräusch hervor und führen später zu Schälungen. Diese Beschädigung tritt besonders leicht bei Lagern ein, die eine seitliche Anstellung auf Grund ihrer Konstruktion bedingen, wie z. B. Schulterkugellager und Schrägkugellager.

Eine andere Ursache für vorzeitige Werkstoffermüdung liegt in dem Überwalzen von Fremdkörpern. Dabei können an den betreffenden Laufbahnstellen außerordentlich hohe spezifische Belastungen auftreten. Entweder führt dies zu einem Eindruck entsprechend der Größe des Fremdkörpers oder zu einem Einbruch in Form einer Ausbröckelung. Befinden sich viele solcher Fremdkörper in einem Lager, dann wird im Laufe der Zeit die Zahl der Eindrücke so groß, daß der Rest der Laufbahn nicht mehr genügt, um den Beanspruchungen standzuhalten. Es ist daher erforderlich, die Gehäuse und alle Zubehörteile vor dem Einbau sorgfältig zu reinigen und zu entgraten und das Eindringen von Spänen zu verhindern.

2. **Verschleiß.** Viele Lager werden durch Verschleiß zerstört. Hierbei handelt es sich nicht um eine Schälung oder Ausbröckelung der Oberfläche, sondern um eine ganz allmählich, aber dauernd wirkende Schmirgelung, die durch Staub oder irgendwelche anderen feinen Fremdkörper hervorgerufen werden kann. Wie stark die Wirkung ist, zeigt Abb. 75. Hier ist im Laufe

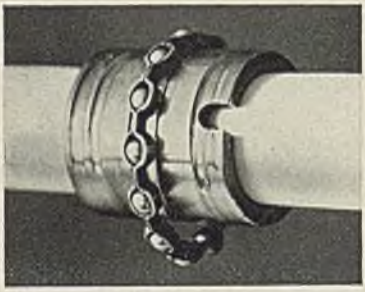


Abb. 75. Starker Verschleiß der Laufrille und der Kugeln bei einem Dreschmaschinenlager.

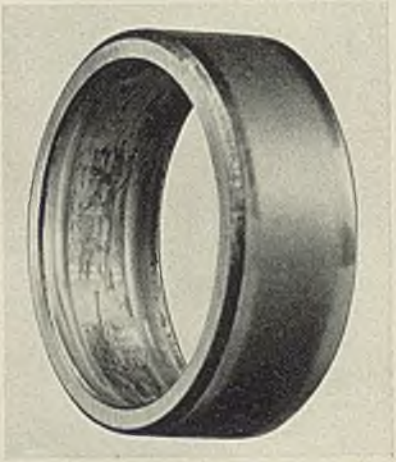


Abb. 76. Verschleiß in der Laufbahn eines Pendelkugellager-Außenringes.

der Zeit bei einem Dreschmaschinenlager zweifellos durch Verschmutzung des Schmiermittels ein derartig großer Verschleiß eingetreten, daß die Laufrillen und Kugeln um mehrere Millimeter in ihrem Durchmesser abgenommen haben. Im allgemeinen wird der Verschleiß gleichmäßig in der ganzen Belastungszone auftreten, wie z. B. bei dem Außenring Abb. 76. An den Seitenflächen der Rollen zeigt sich der Verschleiß besonders stark, wie die Zylinderrollen Abb. 77 erkennen lassen, weil hier reine Gleitreibung vorliegt. Der Verschleiß ist nicht nur an dem vergrößerten Spiel erkennbar, sondern auch an dem

Abb. 77. Verschleiß an den Seitenflächen von Rollen.

matten Aussehen der Laufspur. Würde die starke Wirkung einer nur geringen Verschmutzung in ihrer Bedeutung genügend bekannt sein, so würde sicherlich mehr Wert auf eine zweckmäßige Dichtung gelegt werden. Leider wird oft angenommen, daß es sich um eine nicht genügende Härte des Werkstoffes handelt. Demgegenüber sei darauf hingewiesen, daß bei einwandfreiem Schmiermittel und normaler Belastung eines Wälzlagers selbst im Laufe vieler Jahre kein meßbarer Verschleiß beobachtet werden kann.

Verschleißfördernde Bestandteile können auch entstehen, wenn sich Rost auf den Laufbahnen bildet, der mit Öl oder Fett vermischt als Schmirgel wirkt. Die Rostpunkte sind dann natürlich nicht mehr an dem darauf sitzenden Roststaub zu erkennen, sondern als tiefe Narben in der Laufspur (Abb. 78). Es ist nur wenig bekannt, daß sich Schmirgel im Lager selbst bilden kann. Bei lose sitzenden Laufringen bildet sich Reibrost, der ebenfalls ein vortreffliches Schmirgelmittel (Polierrot) darstellt. Solange sich die Laufringe im Gehäuse oder auf der Welle

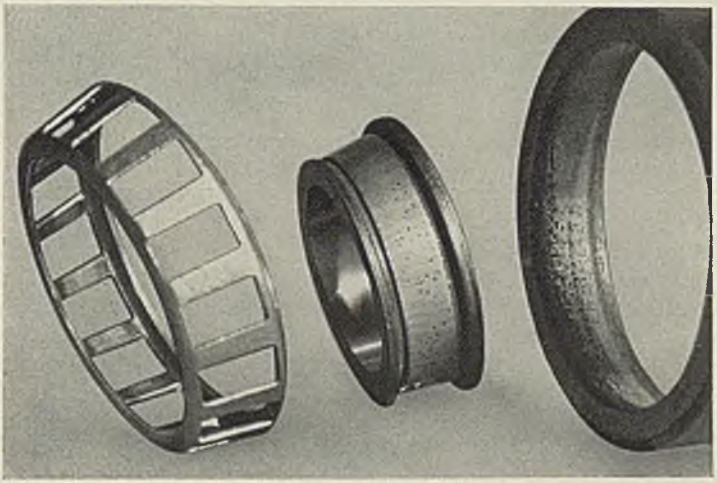


Abb. 78. Rost und Verschleiß in der Laufbahn eines Kegelrollenlagers.

nicht drehen, ist dieser Reibrost ungefährlich, da er dann nur eine geringfügige Veränderung der Oberfläche herbeiführt. In den Fällen jedoch, wo die Ringe „wandern", wird diese Erscheinung zu einer großen Gefahr für die Lager, weil dann die infolge der Gleitbewegung auftretende Schmirgelwirkung schon nach kurzer Zeit einen starken Verschleiß der Sitzflächen hervorruft. Die abgeschabten äußerst feinen Eisenteile, ebenso wie der Reibrost selbst, vermischen sich mit dem Fett und dringen auf diese Art und Weise auch in das Innere des Lagers ein, wo sie naturgemäß nach kurzer Zeit, vor allen Dingen an den unter Gleitung stehenden Flächen, Abnutzungserscheinungen zur Folge haben.

Verschleiß kann nicht nur durch die Einwirkung von Schmirgel entstehen, sondern auch durch ungenügende Schmierwirkung infolge zu hoher Belastung oder schlechten Schmiermittels. Auch dieser Einfluß zeigt sich zuerst an denjenigen Stellen, die einer Gleitreibung ausgesetzt sind, also vor allem an den Bordflächen und Rollenseitenflächen.

Bei der Abb. 79 handelt es sich um 3 Bordscheiben von Führungsrollenlagern, die an der gleichen Stelle (Ritzellagerung) bei ungenügender Schmierung zu hohem Axialdruck ausgesetzt waren und je nach der Laufzeit einen mehr oder

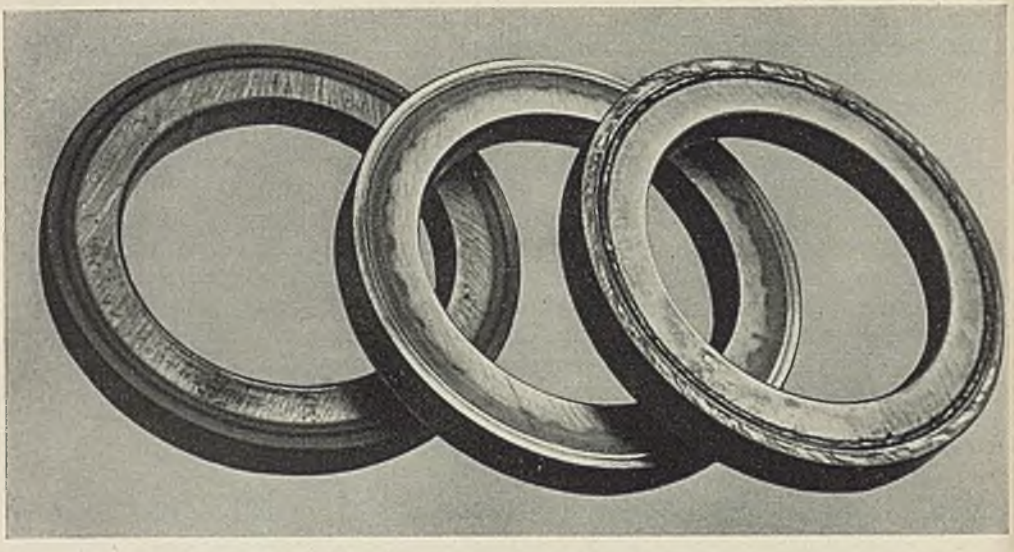


Abb. 79. Starke Erwärmung und Verschleiß an der Anlagefläche von Bordscheiben.

weniger großen Verschleiß zeigen, dem eine starke Erwärmung und Enthärtung vorausging.

Eine außergewöhnlich starke Verformung bei großem Verschleiß zeigt das Zylinderrollenlager Abb. 80. Die Rollen wurden zu Kugeln gewalzt. Mangelnde Schmierung bei zu hoher Temperatur ist wahrscheinlich die Ursache dieser Beschädigung.

Abb. 80. Enthärtung, Verformung und Verschleiß eines Zylinderrollenlagers, Rollen zu Kugeln verformt.

In einigen Fällen ist der Verschleiß mit Riffelbildung verbunden. Die Abb. 81 kann als Beweis dafür dienen, welche Beschädigung eine auch noch so feine Verschmutzung des Schmiermittels herbeiführen kann. Hier handelt es sich um die Scheibe eines Längskegelrollenlagers, das in einer Kohlenstaubmühle eingebaut war. Infolge des durch den Verschleiß entstandenen zu großen Spieles haben die Erschütterungen der Maschine um den ganzen Umfang herum tiefe Riffeln erzeugt.

Werden Wälzlager im Stillstand Erschütte-

rungen ausgesetzt, so bilden sich nach kurzer Zeit muldenförmige Vertiefungen an den Berührungsstellen. Die Abb. 82 und 83 zeigen einen Laufring und Laufscheiben, die auf diese Art und Weise zerstört wurden. Die Mulden liegen immer im Abstand der Rollkörper. Wenn diese nach einer gewissen Laufzeit nicht wieder an dieselbe Stelle zurückkommen, bilden sich bei dem nächsten

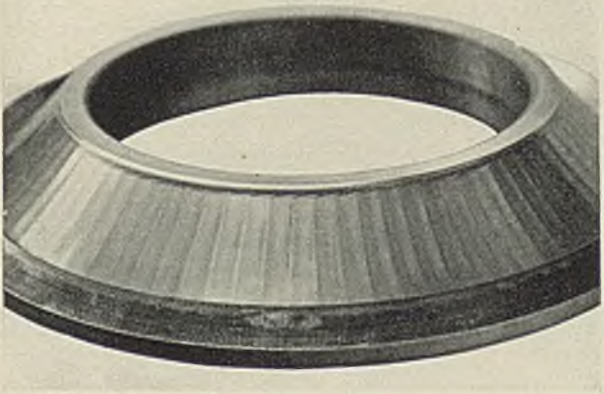


Abb. 81. Verschleiß und Riffelbildung in der Laufbahn eines Längskegelrollenlagers.

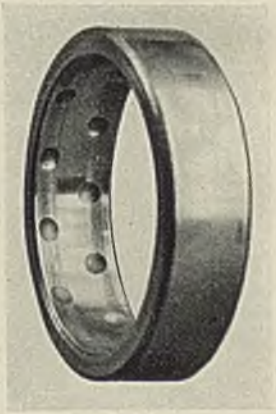


Abb. 82. Muldenförmige Vertiefungen in der Laufbahn eines Pendelkugellager-Außenringes.

Stillstand neue Mulden neben den alten, die aber auch wieder genau im Abstand der Rollkörper liegen (Abb. 84). Die Anzahl der Mulden oder Riffeln ist bei diesem Innenring sehr groß, da immer wieder andere Stellen der Laufbahn den Erschütterungen ausgesetzt wurden. Wie empfindlich die Wälzlager gegen solche Erschütterungen im Stillstand sind, geht daraus hervor, daß sich sogar beim

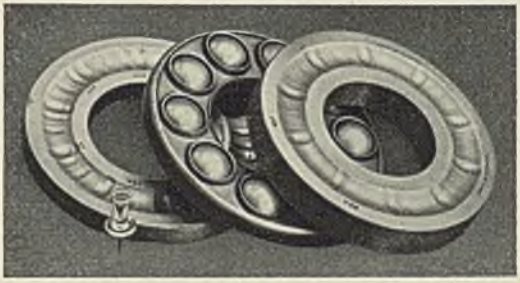


Abb. 83. Dellen in den Laufrillen von Längslagerscheiben.

Abb. 84. Riffelbildung durch sehr zahlreiche Mulden bei einem Zylinderrollenlager-Innenring.

Bahntransport von Elektromotoren solche Rillen gebildet haben. Besonders häufig war die Erscheinung bei Lüftermotoren und Kompressormotoren, die auf fahrenden Lokomotiven zeitweise stillstehen. Auch bei Motoren, die als Reserve auf einem im Betrieb befindlichen Kran aufgestellt waren, zeigten die Laufbahnen nach kurzer Zeit derartige Mulden.

Die Ursache dieser Beschädigung liegt nicht etwa, wie vielfach angenommen wird, in ungenügender Härte der Laufringe. Es ist auch nicht eine dauernde Verformung infolge zu hoher Drücke, sondern Verschleiß, hervorgerufen durch die mit den Erschütterungen zusammenhängenden Gleitbewegungen der Roll-

körper an einer Stelle. Die Fläche der Mulde ist nämlich nicht wie bei Eindrücken blank, sondern matt wie bei der Einwirkung durch Verschleißpartikel. Leider ist es sehr schwierig, diese Beschädigungen zu vermeiden. Am geeignetsten ist es, die Maschinen auch dann, wenn sie keine Arbeit zu leisten haben, mit geringer Geschwindigkeit laufen zu lassen.

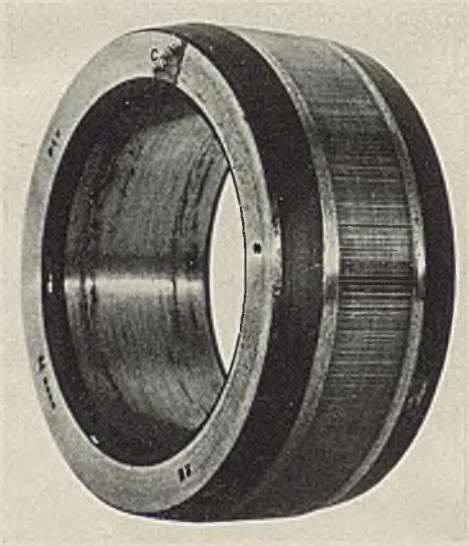


Abb. 85. Riffelbildung als Folge von Stromdurchgang.

3. **Stromdurchgang.** Die Abb. 85 zeigt eine große Ähnlichkeit mit den Erscheinungen, die in der Abb. 84 wiedergegeben ist. Die Riffeln sind aber gleichmäßiger und liegen in einer dunkel gefärbten Laufspur. Es handelt sich um die Wirkung von Stromdurchgang bei einem Straßenbahnachslager. Bei Triebwagen kann der Strom unmittelbar durch die Tatzenlager abgeleitet werden. Bei Anhängewagen dagegen muß der etwa am Untergestell geerdete Strom durch die Achslager gehen. Daher findet man die meisten Lager mit Riffelbildung bei dieser Wagenart. Die Lager Abb. 86 und 87, die ebenfalls Riffelbildung zeigen, stammen aus einem Gleichstrom-Vertikal-Generator, der einen Wicklungsdefekt besaß. Die Erfahrung zeigt, daß diese Erscheinung nur bei Gleichstrom auftritt. Sie wird wahrscheinlich dadurch erzeugt, daß der auch bei Wälzlagern vorhandene Schmierfilm in seiner Dicke je nach der Belastungshöhe schwankt. An den Stellen geringster Dicke findet der Stromübergang statt und erzeugt eine große Anzahl feiner Krater, die eine so bedeutende Unterbrechung der Laufbahn darstellen, daß eine Eindrückung an dieser Stelle die Folge ist. Um derartige Schäden zu vermeiden, ist es notwendig, für besondere Stromableitung Sorge zu tragen.

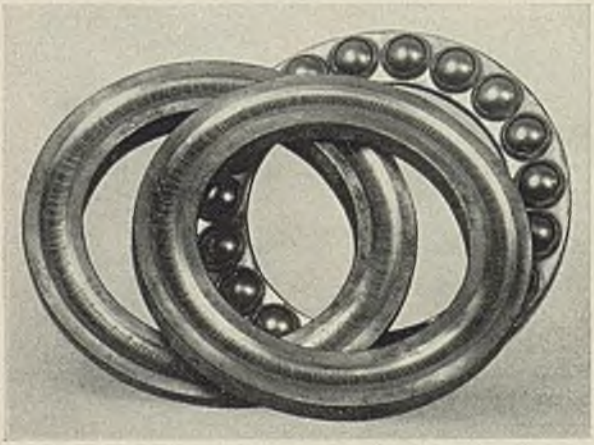


Abb. 86. Riffelbildung bei einem Längskugellager als Folge von Stromdurchgang.

Bei Wechselstrom erzeugt der Stromdurchgang eine Anzahl winzig kleiner Krater, die wie Perlenschnüre in Richtung der Laufbahn aneinander gereiht sind (Abb. 88). Erfolgt der Stromübergang als plötzlicher Überschlag infolge irgendeines Fehlers der elektrischen Ausrüstung, so bilden sich, wie aus der Abb. 89a hervorgeht, örtliche Beschädigungen offenbar als Folge der bei dem Stromübergang erzeugten hohen Wärme. Die eigenartig gekrümmte Spur auf den Rollen läßt deshalb mit

Sicherheit auf Stromübergang schließen, weil das Spiegelbild auch auf einem der Ringe in derselben Größe und Form zu finden ist. Betrachtet man die zickzack-

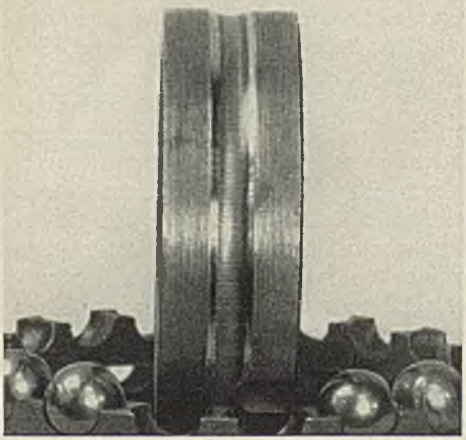


Abb. 87. Riffelbildung bei einem Querkugellager-Innenring als Folge von Stromdurchgang.

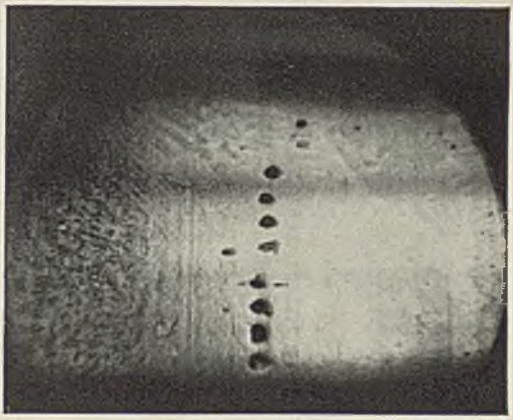
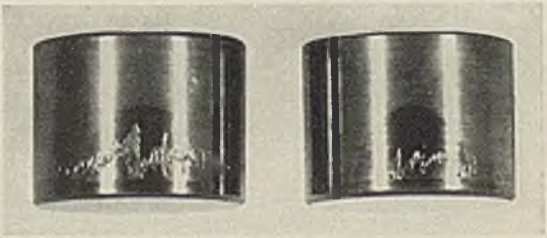


Abb. 88. Krater, perlschnurartig als Folge von Stromdurchgang (Vergrößerung).

förmigen Verletzungen unter starker Vergrößerung, kann man erkennen, daß der Werkstoff an dieser Stelle geschmolzen ist (Abb. 89b). Es muß also eine sehr hohe Temperatur beim Stromübergang entstanden sein.

4. Risse. Das Vorhandensein von Reibrost ist immer ein Zeichen dafür, daß eine Bewegung zwischen Außenring und Gehäuse oder Innenring und Welle an dieser Stelle stattgefunden hat. Solche Bewegungen können dann eintreten, wenn die Ringe nicht auf der ganzen Fläche gut aufliegen. Eine vollkommene Übereinstimmung wird natürlich nie zu erreichen sein. Trotzdem sollte danach gestrebt werden, möglichst genaue Flächen zu erzielen, da sonst die Tragfähigkeit der Lager wesentlich vermindert werden kann. Wird ein Ring an einer Stelle nicht unterstützt, muß er unter der Belastung federn; hiermit ist eine Werkstoffbeanspruchung verbunden, für welche die



a

b

Abb. 89. Zickzackartige Beschädigung der Lauffläche zweier Zylinderrollen durch Stromüberschlag.
a natürliche Größe b sehr starke Vergrößerung

Lager nicht bemessen sind. In Umfangsrichtung der Laufringe sich hinziehende Risse (Abb. 90) sind meistens eine Folge schlechter Sitzflächen.

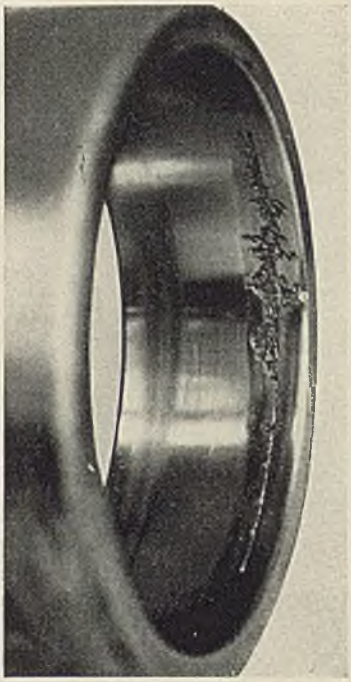


Abb. 90. Ermüdungsriß in Umfangsrichtung in der Laufspur mit schon eingetretener Schälung.

Beim „Wandern" der Laufringe können sog. Gleitrisse entstehen. Die Bewegung zwischen Innenring und Welle oder Außenring und Gehäuse erfolgt unter fast trockener Reibung, da nicht genügend Öl zwischen diese Flächen dringt. Durch die hohe örtliche Erwärmung werden in den gehärteten Ringen Spannungen ausgelöst, deren Folge die sog. Gleitrisse sind. Da dieselben kaum sichtbar sind, werden sie als Zerstörungsursache oft nicht erkannt. Es ist dies besonders gefährlich, wenn Ringe beim „Wandern" unter hohem seitlichen Druck an einer verhältnismäßig kleinen Fläche eines Wellenansatzes oder eines Abstandsringes zur Anlage kommen. Die Abb. 91 zeigt einen Ring, der durch das Anstreifen an einem stillstehenden Teil mit einer großen Anzahl von Gleitrissen bedeckt ist, die durch Ätzen sichtbar gemacht wurden. Es ist daher notwendig, das „Wandern" der Ringe durch die Wahl einer richtigen Passung zu verhindern. Bei Längslagern bewegt sich die ballige Scheibe, sobald die beiden Scheiben nicht parallel stehen. Diese Bewegung geht unter hoher Belastung, aber schlechter Schmierung vor sich. Auch bei solchen Lagern können daher Gleitrisse entstehen.

Rißbildung kann aber auch als Folge von

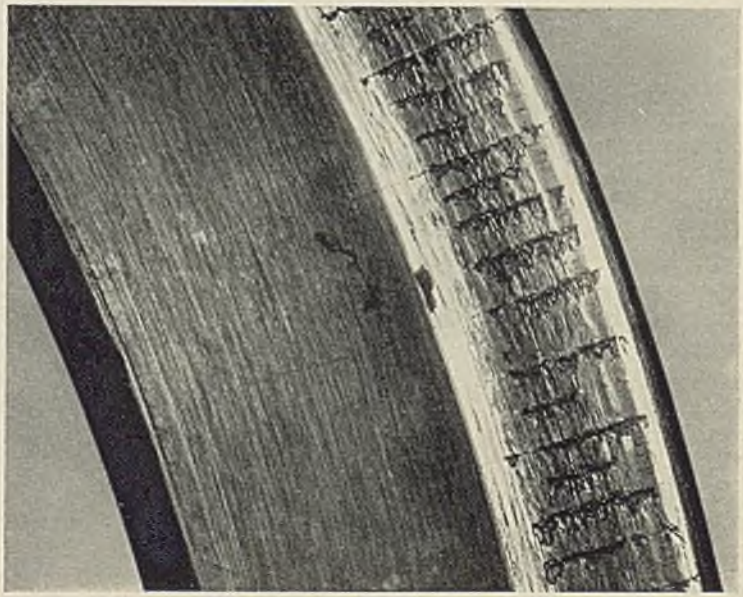


Abb. 91. Gleitrisse (stark vergrößert).

Herstellungsfehlern eintreten. Die Abb. 92 zeigt in der Laufspur ein Nest feiner Risse als Folge einer zu hohen örtlichen Temperatur beim Schleifen.

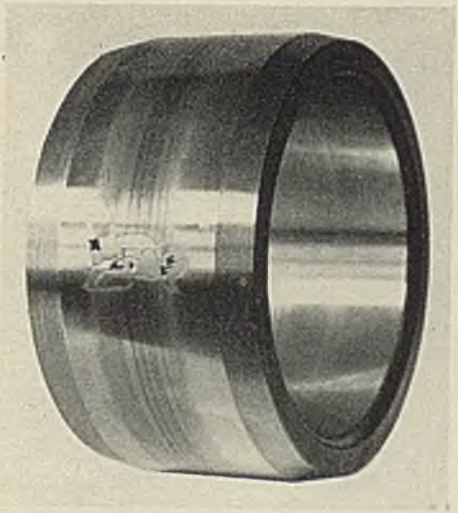


Abb. 92. Schleifrisse in der Laufbahn eines Zylinderrollen-Innenringes.

Abb. 93. Riß und Anriß in dem Innenring eines Zylinderrollenlagers.

Es handelt sich um einen Herstellungsfehler, der bei der Kontrolle nicht bemerkt wurde, da die außerordentlich feinen Risse erst durch das Überwalzen sichtbar wurden. Ob es sich tatsächlich um Schleiffehler handelt, kann durch Ätzen festgestellt werden. Die so verbrannte Stelle hebt sich dann mit dunkler Färbung deutlich von der übrigen Schleiffläche ab.

Die Abb. 93 zeigt einen quer zur Laufbahn liegenden Riß und parallel dazu einen Anriß. Hier handelt es sich offenbar um einen Werkstoffehler.

5. Rost — Reibrost. Es ist allgemein bekannt, daß Wälzlager zum Schutz gegen Verrosten gut abgedichtet werden müssen. Rost vermindert die Tragfähigkeit des Lagers insofern, als die angefressenen Stellen eine Verringerung der Tragfläche bedeuten. Gleichzeitig vermischt sich aber der Rost mit dem Fett und übt eine starke Schmirgelwirkung aus, die nach kurzer Zeit zum Unbrauchbarwerden des Lagers führt. Die Abb. 94 und 95 zeigen Lagerteile, die durch Rost angegriffen bzw. zerstört wurden. Die Roststellen auf den Längslagerscheiben (Abb. 94) wurden in einer Nacht durch einige Wassertropfen hervorgerufen, nachdem die eingefetteten Scheiben leicht abgewischt, aber nicht trocken waren. In der Abb. 96 ist ein Laufbahnstück eines Pendelrollenlagers dargestellt, bei welchem infolge ungeeigneten Fettes neben der Laufspur starke Korrosionen entstanden sind. Das

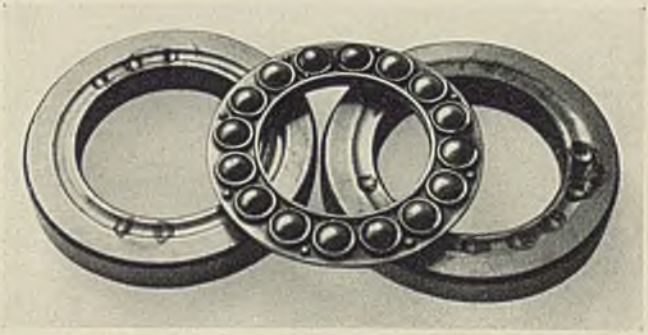


Abb. 94. Verrostete Laufflächen von Längslagerscheiben.

Aussehen des Reibrostes auf den Sitzflächen eines Zapfens zeigt Abb. 97. Da an den Roststellen keine innige Berührung vorhanden ist, federn die Ringe, und ein entsprechender Teil der Tragfähigkeit geht verloren, außerdem besteht Gefahr für Ringbruch und Verschleiß.

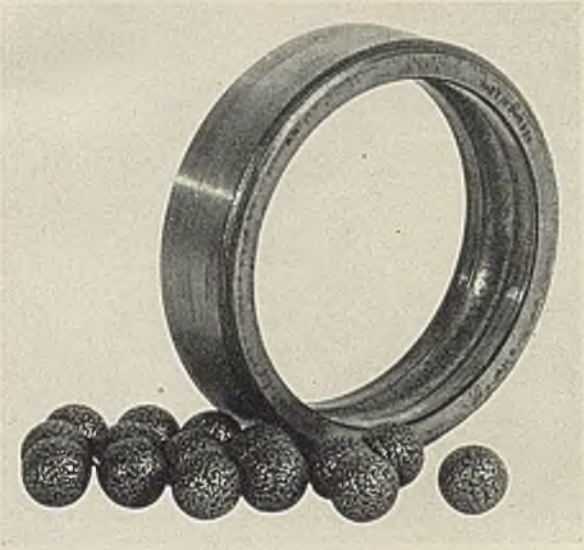


Abb. 95. Sehr stark verrostete Kugeln.

In manchen Fällen werden Wälzlager wegen ungenügender Härte beanstandet. Tatsache ist jedoch, daß gerade dieser Fehler außerordentlich selten vorkommt, da bei der Herstellung der Lager die Härtung mit großer Sorgfalt vorgenommen und dauernd kontrolliert wird. Sind Ringe oder Rollkörper nicht genügend hart, so wird die Oberfläche nach kurzer Zeit stark porös. In der Abb. 98 ist ein Rollenlager ohne Außenring gezeigt, bei dem eine Rolle ungenügende Härte besaß.

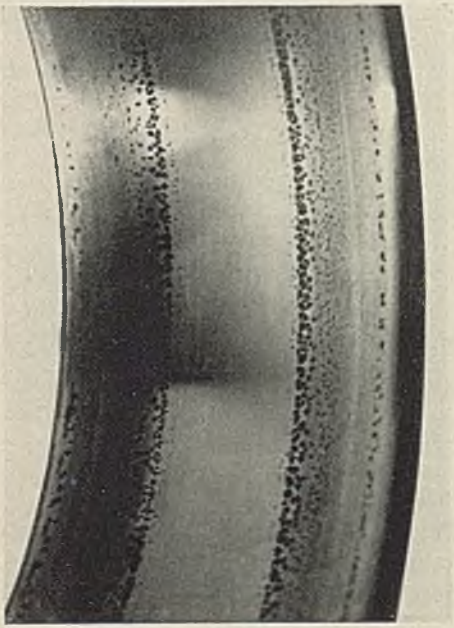


Abb. 96. Korrosion in und neben der Laufspur eines Pendelrollenlagers.

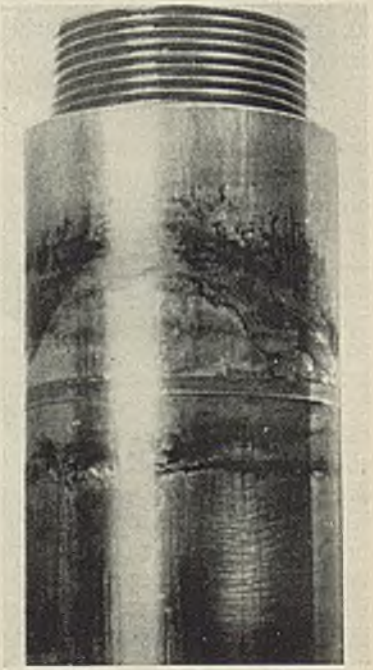


Abb. 97. Reibrost auf der Sitzfläche eines Zapfens.

6. Freßspuren — Anschmieren. Infolge der Zentrifugalkraft haben die Kugeln von Längslagern das Bestreben, sich tangential nach außen zu bewegen. Ist die

Belastung nicht groß genug oder wird die Kugelreihe zeitweise entlastet, wie es bei doppelt wirkenden Lagern oft der Fall ist, dann können die Kugeln, soweit es das Spiel im Käfig zuläßt, radial ausweichen, um plötzlich wieder von den Laufrillen gefaßt zu werden. Die dabei entstehende Gleitung verursacht ein Fressen, das mit „Anschmieren" bezeichnet werden

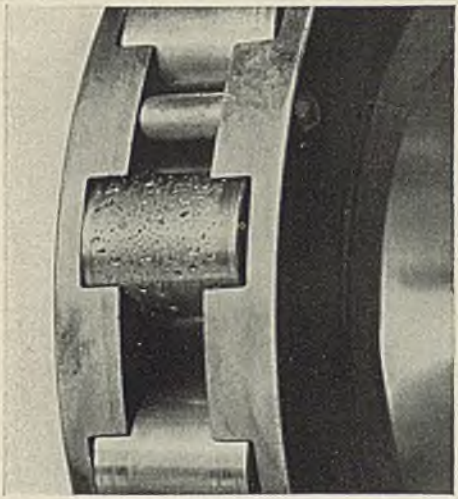


Abb. 98. Stark poröse Mantelfläche einer Rolle.

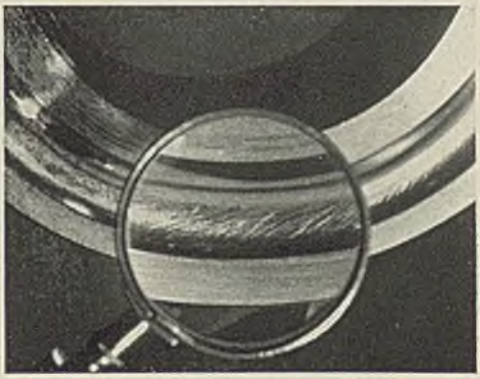


Abb. 99. Freßspuren am Rande der Laufspur einer Längslagerscheibe.

kann. Es wird dabei Werkstoff von der einen Fläche abgerissen und auf die andere aufgetragen. Die Abb. 99 zeigt, wie diese feinen Freßspuren in der Laufbahn bogenförmig aus der eigentlichen Laufspur heraustreten. Bei der Inbetriebsetzung von Maschinen muß von vornherein für eine gute Schmierung der Wälzlager gesorgt werden, weil sonst leicht ein Fressen der Laufbahnen eintritt, vor allen Dingen, wenn die Maschine schnell in Gang gesetzt wird. Auch die starke Bremswirkung von steifem Fett kann diese Wirkung hervorrufen. Der aufgerauhte „angeschmierte" Streifen in der Mitte der Rolle (Abb. 100) ist beim Probelauf eines großen schnellaufenden Elektromotors durch Gleiten auf der Laufbahn entstanden.

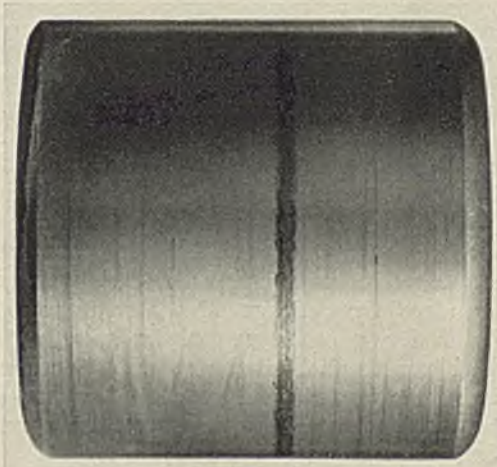


Abb. 100. Freßspuren auf dem Mantel einer Zylinderrolle.

Die bereits erwähnten Kantenbelastungen rufen nicht nur frühzeitige Ermüdung der Laufbahnen hervor, sondern meistens auch ein Fressen an den Rollen- und Bordflächen, verbunden mit starkem Verschleiß. Die Abb. 101 und 102 zeigen diese Erscheinung an einer Bordfläche und an der Seitenfläche von Rollen. Infolge fehlerhafter Bearbeitung, Biegung der Welle oder Verkantung wurden die Rollen geschränkt. Dabei entstanden so hohe Drücke an den Gleitstellen, daß Fressen eintrat.

Instandsetzen. Wenn sich bei der Untersuchung eine Beschädigung herausstellt, dann muß das Lager entweder instand gesetzt oder durch ein neues ersetzt werden. Auch bei geringfügigen Fehlern sollte eine Wiederverwendung unterbleiben, weil mit einem schnellen Fortschreiten der Zerstörung zu rechnen ist. Eine Instandsetzung lohnt sich bei kleinen Lagern unter etwa 60 mm Bohrung selten, bei größeren Lagern nur, wenn die Beschädigung frühzeitig entdeckt wird und andere Teile noch

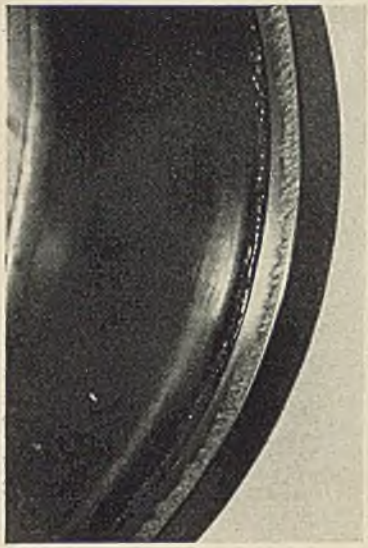


Abb. 101. Freßspuren an der Bordfläche (etwas vergrößert).

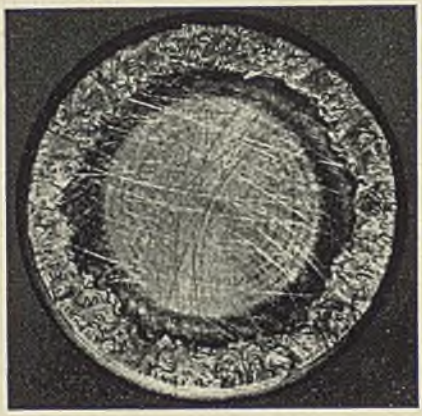


Abb. 102. Freßspuren an der Seitenfläche einer Rolle.

nicht in Mitleidenschaft gezogen sind. Man vergegenwärtige sich nur die dazu tatsächlich erforderlichen Arbeitsgänge. Das Lager muß auseinandergenommen werden. Dabei wird der Käfig meistens unbrauchbar. Handelt es sich um eine geringfügige Ausbröckelung einer Laufbahn, dann sind mit großer Wahrscheinlichkeit beide Laufbahnen nachzuschleifen, da die feinen überwalzten Splitter auch die andere Laufbahn beschädigt haben. Meistens wird ein Ring ersetzt werden müssen und der andere nachzuschleifen sein. Dies bedingt größere Kugeln, die vorrätig sein müssen, da einzelne Kugeln nicht hergestellt werden können. Sie dürfen aber nur geringfügig von der normalen Größe abweichen, weil sonst der Käfig nicht mehr paßt. Ein gestanzter Blechkäfig ist nur für einen bestimmten Kugel- oder Rollendurchmesser verwendbar. Ein massiver Käfig erfordert besondere Operationen und Vorrichtungen. Außerdem ist jeder Arbeitsgang einzeln für jedes Lager vorzunehmen, so daß hohe Kosten erwachsen. Es ist daher verständlich, daß sich die Instandsetzung bei großen Lagern eher lohnt als bei kleinen. Der Ersatz durch ein neues Lager ist immer vorzuziehen, wenn die Kosten für die Wiederherstellung nur unwesentlich geringer sind als der Wert eines Lagers.

Die Instandsetzung eines Lagers sollte nur in einer Wälzlagerfabrik erfolgen. Dann ist zu erwarten, daß das Lager wieder voll verwendungsfähig ist. Es muß jedenfalls dringend davor gewarnt werden, irgendeine Nacharbeit an einem Wälzlager von dritter Seite vornehmen zu lassen, da meistens keine Gewähr für einwandfreie Ausführung gegeben ist.

Einzelne beschädigte Kugeln oder Rollen können nicht ersetzt werden, da von ein und derselben Nennmaßgröße immer verschiedene Sortierungsgruppen

bestehen. Innerhalb einer Gruppe ist der Durchmesserunterschied oder die Toleranz gering, um eine gleichmäßige Belastung aller Rollkörper zu erzielen. Die einzelnen Gruppen weisen aber untereinander so große Differenzen auf, daß Rollkörper aus mehreren Gruppen nicht in einem Lager verwendet werden dürfen. Aus diesem Grunde ist es auch nicht zulässig, die Rollkörper verschiedener Lager miteinander zu vertauschen.

Der Erastz von Wälzlagern kann meistens in kurzer Zeit erfolgen, wenn es sich um normale, listenmäßige Lager handelt, die in großen Mengen hergestellt und auf Vorrat gehalten werden. Ist das Lager aber in irgendeiner Weise abnormal, sei es in bezug auf die Außenmaße oder Innenmaße, oder die Maßgenauigkeit, dann muß mit langer Lieferzeit und erheblichen Kosten gerechnet werden, wenn die betreffende Lagergröße nicht zufällig vorrätig ist. Es ist daher zu empfehlen, abnormale Lager als Reserve auf Vorrat zu halten oder dem Hersteller der Maschine die Verpflichtung zur Vorratshaltung aufzuerlegen.

Hauptmaße.

Alle in der folgenden Tabelle 5 aufgeführten Hauptmaße der Querlager, mit Ausnahme derjenigen für Schulterkugellager und Nadellager, stimmen überein mit DIN 616 und den entsprechenden ISA-Vorschlägen. Aus dem Kopf der Tabelle ist zu ersehen, zu welchen Lagerarten die einzelnen Spalten gehören.

Da die Unterscheidung in ganz leichte, leichte, mittelschwere und schwere Reihen durch das Hinzukommen neuer Reihen nicht mehr verwendbar ist, wird die Unterscheidung nach Gruppen empfohlen. Die Reihe 60 gehört zur Gruppe 0, die Gruppe 1 ist neu hinzugekommen, die Gruppe 2 entspricht den leichten Reihen, Gruppe 3 den mittelschweren Reihen und Gruppe 4 den schweren Reihen. Ähnliches gilt für die Längslager (Tabelle 6).

Die Bezeichnung gewisser Reihen bestand früher aus einer 4- oder 5-stelligen Zahl mit den Ziffern „00“ am Ende, z. B. 6000, 23000, 1200, 1500 usw. Um Verwechslungen mit dem Lager, dessen Kennziffer ebenfalls aus „00“ besteht, zu vermeiden und einen mehr systematischen Aufbau zu bekommen, gelten in Zukunft als Reihenbezeichnung nur diejenigen Ziffern oder Buchstaben, die in dem Kopf der Tabelle angegeben sind, z. B. 60, 230, 12, 22 usw.

Die Bezeichnung der Nadellager, kleinen Radiaxlager, kleinen Pendelkugellager und Schulterkugellager ist in der Spalte vor den Hauptmaßen angegeben.

Die Bezeichnung der Zylinderrollenlager wird zusammengesetzt aus der Reihenbezeichnung, die im Kopf der Tabelle angegeben ist, und dem Bohrungsmaß. Ein Zylinderrollenlager der Gruppe 2 (leichte Reihe) mit 50 mm Bohrung trägt also die Bezeichnung „NL 50“ oder „NUL 50“, je nachdem, ob es sich um Innenbord- oder Außenbordlager handelt.

Bei allen anderen Lagerarten, die im Kopf der Tabelle angegeben sind, setzt sich die Bezeichnung eines Lagers aus der Reihenbezeichnung und der Kennziffer der Bohrung zusammen. Die Bezeichnung eines Radiaxlagers der Gruppe 2 (leichte Reihe) mit 50 mm Bohrung ist also „6210“. Die Bezeichnung eines Tonnenlagers der Gruppe 2 (leichte Reihe) mit 50 mm Bohrung ist „To 1210“.

Für einige Lagerarten ist die alte und die neue Bezeichnung angegeben. Die veraltete Bezeichnung steht in Klammern unter der neuen Bezeichnung.

Die Radiaxlager der neuen Reihe 60 von 10 ··· 110 mm Bohrung erhalten die Zusatzbezeichnung „X“, um sie von Kugellagern einer veralteten Reihe, die die gleiche Reihenbezeichnung trug, unterscheiden zu können. Diese Zusatzbezeichnung soll nach einigen Jahren wegfallen, wenn die Lager der veralteten Reihe nicht mehr vorkommen.

Die zweireihigen Schrägkugellager der Reihen 32 und 33 erhalten ebenfalls die Zusatzbezeichnung „X“, um sie von Lagern anderer Bauart, die diese Bezeichnung tragen, unterscheiden zu können. Auch diese Zusatzbezeichnung soll nach einigen Jahren wegfallen.

Der Kantenabstand der kleinen Seitenfläche der Laufringe von Kegelrollenlagern, Schulterkugellagern und Schrägkugellagern ist kleiner als die in der folgenden Tabelle aufgeführten Werte. Auch bei den kleinen Zylinderrollenlagern ist der Kantenabstand an der bordfreien Seite kleiner.

r, r_1, r_2 = Kantenabstand, nicht Profilhalbmesser der Rundungsfläche.

Tabelle 5. Hauptmaße der Querlager entsprechend DIN 616

Lagerart	Gruppe 0 (ganz leichte Reihen)							Gruppe 1				Gruppe 2 (leichte Reihen)										
Pendelkugellager												12 22	12 22				12	22				12 22
Rillenkugellager ohne Einfüllöffnung	160 60x	160 60x	(160)		60x		160 60x					62	62	62								62
Rillenkugellager mit Einfüllöffnung												2 42	2 42	2 (A)				42 (AA)				2 42
Schrägkugellager einreihig												72 32x	72 32x	72							32x	72 32x
Schrägkugellager zweireihig																						
Zylinderrollenlager	NUE	NUE			NUE		NUE					NL NUL	NL NUL	NL NUL				WUL				NUL WUL
Tonnenlager												To 12	To 12	To 12								To 12
Pendelrollenlager	230	230				230	230	231	231	231	231	222 232	222 232					222			232	222 232
Kegelrollenlager												302 322	302 322	302	302	302		322	322	322		302 322
Kennziffer	d	D	B	r	B	B	r	d	D	B	r	d	D	B	B_a	B_g	B	B	B_a	B_g	B	r
00	10	26	8	0,5	8	—	0,5	—	—	—	—	10	30	9	$B_l = B$		9	14	$B_l = B$		14	1
01	12	28	8	0,5	8	—	0,5	—	—	—	—	12	32	10			10	14			15,9	1
02	15	32	8	0,5	9	—	0,5	—	—	—	—	15	35	11	—	—	11	14	—	—	15,9	1
03	17	35	8	0,5	10	—	0,5	—	—	—	—	17	40	12	11	13,5	12	16	—	—	17,5	1,5
04	20	42	8	0,5	12	—	1	—	—	—	—	20	47	14	12	15,5	14	18	—	—	20,6	1,5
05	25	47	8	0,5	12	—	1	—	—	—	—	25	52	15	13	16,5	15	18	—	—	20,6	1,5
06	30	55	9	0,5	13	—	1,5	—	—	—	—	30	62	16	14	17,5	16	20	17	21,5	23,8	1,5
07	35	62	9	0,5	14	—	1,5	—	—	—	—	35	72	17	15	18,5	17	23	19	24,5	27,0	2
08	40	68	9	0,5	15	—	1,5	—	—	—	—	40	80	18	16	20	18	23	19	25	30,2	2
09	45	75	10	0,5	16	—	1,5	—	—	—	—	45	85	19	16	21	19	23	19	25	30,2	2
10	50	80	10	0,5	16	—	1,5	—	—	—	—	50	90	20	17	22	20	23	19	25	30,2	2
11	55	90	11	0,5	18	—	2	—	—	—	—	55	100	21	18	23	21	25	21	27	33,3	2,5
12	60	95	11	0,5	18	—	2	—	—	—	—	60	110	22	19	24	22	28	24	30	36,5	2,5
13	65	100	11	0,5	18	—	2	—	—	—	—	65	120	23	20	25	23	31	27	33	38,1	2,5
14	70	110	13	0,5	20	—	2	—	—	—	—	70	125	24	21	26,5	24	31	27	33,5	39,7	2,5
15	75	115	13	0,5	20	—	2	—	—	—	—	75	130	25	22	27,5	25	31	27	33,5	41,3	2,5
16	80	125	14	1	22	—	2	—	—	—	—	80	140	26	22	28,5	26	33	28	35,5	44,4	3
17	85	130	14	1	22	—	2	—	—	—	—	85	150	28	24	31	28	36	30	39	49,2	3
18	90	140	16	1	24	—	2,5	—	—	—	—	90	160	30	26	33	30	40	34	43	52,4	3
19	95	145	16	1	24	—	2,5	—	—	—	—	95	170	32	27	35	32	43	37	46	55,6	3,5
20	100	150	16	1	24	—	2,5	—	—	—	—	100	180	34	29	37,5	34	46	39	49,5	60,3	3,5
21	105	160	18	1	26	—	3	—	—	—	—	105	190	36	30	39,5	36	50	43	53,5	65,1	3,5
22	110	170	19	1	28	—	3	110	180	56	3	110	200	38	32	41,5	38	53	46	56,5	69,8	3,5
24	120	180	19	1	28	46	3	120	200	62	3	120	215	40	34	44	42	58	50	62	Pendelrollenlager	3,5
26	130	200	22	1	33	52	3	130	210	64	3	130	230	40	34	44,5	46	64	—	—		4
28	140	210	22	1	33	53	3	140	225	68	3,5	140	250	42	36	46,5	50	68	—	—		4
30	150	225	24	1	35	56	3,5	150	250	80	3,5	150	270	45	38	50	54	73	—	—		4
32	160	240	25	1,5	38	60	3,5	160	270	86	3,5	160	290	48	—	—	58	80	—	—		4
34	170	260	28	1,5	42	67	3,5	170	280	88	3,5	170	310	52	—	—	62	86	—	—		5
36	180	280	31	1,5	46	74	3,5	180	300	96	4	180	320	52	—	—	62	86	—	—	Schräglager zweir.	5
38	190	290	31	1,5	46	75	3,5	190	320	104	4	190	340	55	—	—	65	92	—	—		5
40	200	310	34	1,5	51	82	3,5	200	340	112	4	200	360	58	—	—	70	98	—	—		5
44	220	340	37	1,5	56	90	4	220	370	120	5	220	400	65	—	—	78	108	—	—		144 5
48	240	360	37	1,5	56	92	4	240	400	128	5	240	440	72	—	—	85	120	—	—		160 5
52	260	400	44	1,5	65	104	5	260	440	144	5	260	480	80	—	—	90	130	—	—		174 6
56	280	420	44	1,5	65	106	5	280	460	146	6	280	500	80	—	—	90	130	—	—		176 6
60	300	460	50	1,5	74	118	5	300	500	160	6	300	540	85	—	—	98	140	—	—		192 6
64	320	480	50	1,5	74	121	5	320	540	176	6	320	580	92	—	—	105	150	—	—		208 6
68	340	520	57	2	82	133	6	340	580	190	6	340	620	—	—	—	—	—	—	—		224 8
72	360	540	57	2	82	134	6	360	600	192	6	360	650	—	—	—	—	—	—	—		232 8
76	380	560	57	2	82	135	6	380	620	194	6	380	680	—	—	—	—	—	—	—		240 8
80	400	600	—	—	90	148	6	400	650	200	8	400	720	—	—	—	—	—	—	—		256 8
84	420	620	—	—	90	150	6	420	700	224	8	420	760	—	—	—	—	—	—	—		272 10
88	440	650	—	—	94	157	8	440	720	226	8	440	790	—	—	—	—	—	—	—		280 10
92	460	680	—	—	100	163	8	460	760	240	10	460	830	—	—	—	—	—	—	—		296 10
96	480	700	—	—	100	165	8	480	790	248	10	480	870	—	—	—	—	—	—	—		310 10

Gruppe 3 (mittelschwere Reihen)													Gruppe 4 (schwere Reihen)				
	13 23	13 23					13	23				13 23	104 (4)	104 (4)	104 (4)		104 (4)
	63	63	63									63	64	64	64		64
	3 43	3 43	3 (B)					43 (BB)				3 43	4 (C)	4 (C)	4 (C)		4 (C)
	73 33x	73 33x	73								33x	13 33x					
	NUM WUM	NUM WUM	NM NUM					WUM				NUM WUM	NUS WUS	NUS WUS	NS NUS	WUS	NUS WUS
	To 13	To 13	To 13									To 13	To 4	To 4	To 4		To 4
	213 223	213 223					213	223				213 223					
	303 323	303 323	303 313	303	303 313	313		323	323	323		303 323					
Kennziffer	d	D	B	B_a	B_g	B_a	B	B	B_a	B_g	B	r	d	D	B	B	r
00	10	35	11	$B_l = B$		—	11	17	$B_l = B$		19,0	1	—	—	—	—	—
01	12	37	12			—	12	17			19,0	1,5	—	—	—	—	—
02	15	42	13	11	14,5	—	13	17	—	—	19,0	1,5	—	—	—	—	—
03	17	47	14	12	15,5	—	14	19	—	—	22,2	1,5	17	62	17	29	2
04	20	52	15	13	16,5	—	15	21	—	—	22,2	2	20	72	19	33	2
05	25	62	17	15	18,5	13	17	24	20	25,5	25,4	2	25	80	21	36	2,5
06	30	72	19	16	21	14	19	27	23	29	30,2	2	30	90	23	40	2,5
07	35	80	21	18	23	15	21	31	25	33	34,9	2,5	35	100	25	43	2,5
08	40	90	23	20	25,5	17	23	33	27	35,5	36,5	2,5	40	110	27	46	3
09	45	100	25	22	27,5	18	25	36	30	38,5	39,7	2,5	45	120	29	50	3
10	50	110	27	23	29,5	19	27	40	33	42,5	44,4	3	50	130	31	53	3,5
11	55	120	29	25	32	21	29	43	35	46	49,2	3	55	140	33	57	3,5
12	60	130	31	26	34	22	31	46	37	49	54,0	3,5	60	150	35	60	3,5
13	65	140	33	28	36,5	23	33	48	39	51,5	58,7	3,5	65	160	37	64	3,5
14	70	150	35	30	38,5	25	35	51	42	54,5	63,5	3,5	70	180	42	74	4
15	75	160	37	31	40,5	—	37	55	45	58,5	68,3	3,5	75	190	45	77	4
16	80	170	39	33	43	—	39	58	48	62	68,3	3,5	80	200	48	80	4
17	85	180	41	34	45	—	41	60	49	64	73,0	4	85	210	52	86	5
18	90	190	43	36	47	—	43	64	53	68	73,0	4	90	225	54	90	5
19	95	200	45	38	50	—	45	67	55	72	77,8	4	95	240	55	95	5
20	100	215	47	39	52	—	47	73	60	78	82,6	4	100	250	58	98	5
21	105	225	49	41	54	—	49	77	63	82	87,3	4	105	260	60	100	5
22	110	240	50	42	55	—	50	80	65	85	92,1	4	110	280	65	108	5
24	120	260	55	46	60	—	55	86	69	91	—	4	120	310	72	118	6
26	130	280	58	—	—	—	58	93	—	—	—	5	130	340	78	128	6
28	140	300	62	—	—	—	62	102	—	—	—	5	140	360	82	132	6
30	150	320	65	—	—	—	67	108	—	—	—	5	150	380	85	138	6
32	160	340	68	—	—	—	71	114	—	—	—	5	160	400	88	142	6
34	170	360	72	—	—	—	75	120	—	—	—	5	170	420	92	145	6
36	180	380	75	—	—	—	79	126	—	—	—	5	180	440	95	150	8
38	190	400	78	—	—	—	83	132	—	—	—	6	190	460	98	155	8
40	200	420	80	—	—	—	87	138	—	—	—	6	200	480	102	160	8
44	220	460	88	—	—	—	99	145	—	—	—	6	220	540	115	180	8
48	240	500	95	—	—	—	111	155	—	—	—	6	240	580	122	190	8
52	260	540	102	—	—	—	120	165	—	—	—	8	260	—	—	—	
56	280	580	108	—	—	—	128	175	—	—	—	8	280	—	—	—	

Toleranz für Bg:

30203 bis 30216 Bg-0,5
30217 „ 30224 Bg-1,0
30226 „ 30228 Bg-1,5
30230 Bg-2,0
32206 „ 32216 Bg-0,5
32217 „ 32224 Bg-1,0

Toleranz für Bg:

30302 bis 30310 Bg-0,5
30311 „ 30324 Bg-1,0
32305 „ 32310 Bg-0,5
32311 „ 32324 Bg-1,0
31305 „ 31310 Bg-0,5
31311 „ 31314 Bg-1,0

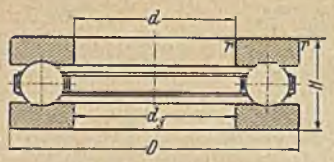
Bezeichnung	Radiaxlager (DIN 616) d	D	B	r
EL 4	4	13	5	0,5
R 4	4	16	5	0,5
EL 5	5	16	5	0,5
R 5	5	19	6	0,5
EL 6	6	19	6	0,5
R 7	7	22	7	0,5
EL 8	8	22	7	0,5
EL 9	9	24	7	0,5
R 9	9	26	8	1

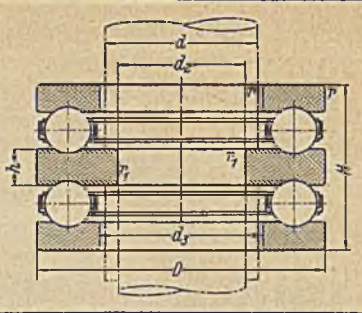
Bezeichnung	Pendelkugellager (DIN 616) d	D	B	r
13300	5	19	6	0,5
13301	6	19	6	0,5
13302	7	22	7	0,5
13303	8	22	7	0,5
13304	9	26	8	1

Bezeichnung	Schulterkugellager Auszug aus (DIN 615) d	D	B	r
E 4	4	16	5	0,3
E 5	5	16	5	0,3
E 6	6	21	7	0,5
E 7	7	22	7	0,5
E 8	8	24	7	0,5
E 9	9	28	8	0,5
E 10	10	28	8	0,5
E 12	12	32	7	0,5
E 15	15	35	8	0,5
E 17	17	44	11	1
E 20	20	47	12	1,5

Bezeichnung	Nadellager (DIN 617) d	D	B	r
Na 17	17	37	20	1
Na 20	20	42	20	1
Na 25	25	47	22	1
Na 30	30	52	22	1
Na 35	35	58	22	1
Na 40	40	65	22	1,5
Na 45	45	72	22	1,5
Na 50	50	80	28	2
Na 55	55	85	28	2
Na 60	60	90	28	2
Na 65	65	95	28	2
Na 70	70	100	28	2
Na 75	75	110	32	2
Na 80	80	115	32	2
Na 85	85	120	32	2
Na 90	90	125	32	2
Na 95	95	130	32	2
Na 100	100	135	32	2
Na 110	110	150	40	3
Na 120	120	160	40	3
Na 130	130	180	52	3
Na 140	140	190	52	3
Na 150	150	200	52	3

Tabelle 6. Hauptmaße der Längslager.





„Kennziffer" der Bohrung		Gruppe 1 u. leichte Reihe 511			Gruppe 2 leichte Reihe 512			Gruppe 3 mittelschw. Reihe 513			Gruppe 4 schwere Reihe 514			Gruppe 2 leichte Reihe 522				Gruppe 3 mittelschw. Reihe 523				Gruppe 4 schwere Reihe 524			
	d	D	H	r	D	H	r	D	H	r	D	H	r	d_2	H	h	r_1	d_2	H	h	r_1	d_2	H	h	r_1
00	10	24	9	0,5	26	11	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
01	12	26	9	0,5	28	11	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
02	15	28	9	0,5	32	12	1	—	—	—	—	—	—	10	22	5	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—
03	17	30	9	0,5	35	12	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
04	20	35	10	0,5	40	14	1	—	—	—	—	—	—	15	26	6	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—
05	25	42	11	1	47	15	1	52	18	1,5	60	24	1,5	20	28	7	0,5	20	34	8	0,5	15	45	11	1
06	30	47	11	1	53	16	1	60	21	1,5	70	28	1,5	25	29	7	0,5	25	38	9	0,5	20	52	12	1
07	35	53	12	1	62	18	1,5	68	24	1,5	80	32	2	30	34	8	0,5	30	44	10	0,5	25	59	14	1
08	40	60	13	1	68	19	1,5	78	26	1,5	90	36	2	30	36	9	1	30	49	12	1	30	65	15	1
09	45	65	14	1	73	20	1,5	85	28	1,5	100	39	2	35	37	9	1	35	52	12	1	35	72	17	1
10	50	70	14	1	78	22	1,5	95	31	2	110	43	2,5	40	39	9	1	40	58	14	1	40	78	18	1
11	55	78	16	1	90	25	1,5	105	35	2	120	48	2,5	45	45	10	1	45	64	15	1	45	87	20	1
12	60	85	17	1,5	95	26	1,5	110	35	2	130	51	2,5	50	46	10	1	50	64	15	1	50	93	21	1
13	65	90	18	1,5	100	27	1,5	115	36	2	140	56	3	55	47	10	1	55	65	15	1	50	101	23	1,5
14	70	95	18	1,5	105	27	1,5	125	40	2	150	60	3	55	47	10	1,5	55	72	16	1,5	55	107	24	1,5
15	75	100	19	1,5	110	27	1,5	135	44	2,5	160	65	3	60	47	10	1,5	60	79	18	1,5	60	115	26	1,5
16	80	105	19	1,5	115	28	1,5	140	44	2,5	170	68	3,5	65	48	10	1,5	65	79	18	1,5	65	120	27	1,5
17	85	110	19	1,5	125	31	1,5	150	49	2,5	180	72	3,5	70	55	12	1,5	70	87	19	1,5	65	128	29	2
18	90	120	22	1,5	135	35	2	155	50	2,5	190	77	3,5	75	62	14	1,5	75	88	19	1,5	70	135	30	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	100	135	25	1,5	150	38	2	170	55	2,5	210	85	4	85	67	15	1,5	85	97	21	1,5	80	150	33	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	110	145	25	1,5	160	38	2	190	63	3	230	95	4	95	67	15	1,5	95	110	24	1,5	90	166	37	2
24	120	155	25	1,5	170	39	2	210	70	3,5	250	102	5	100	68	15	2	100	123	27	2	95	177	40	2,5
26	130	170	30	1,5	190	45	2,5	225	75	3,5	270	110	5	110	80	18	2	110	130	30	2	100	192	42	3
28	140	180	31	1,5	200	46	2,5	240	80	3,5	280	112	5	120	81	18	2	120	140	31	2	110	196	44	3
30	150	190	31	1,5	215	50	2,5	250	80	3,5	300	120	5	130	89	20	2	130	140	31	2	120	209	46	3
32	160	200	31	1,5	225	51	2,5	270	87	4	320	130	6	140	90	20	2	140	153	33	2	130	226	50	3
34	170	215	34	2	240	55	2,5	280	87	4	340	135	6	150	97	21	2	150	153	33	2	135	236	50	3,5
36	180	225	34	2	250	56	2,5	300	95	4	360	140	6	150	98	21	3	150	165	37	3	140	245	52	4
38	190	240	37	2	270	62	3	320	105	5	380	150	6	160	109	24	3	160	183	40	3	—	—	—	—
40	200	250	37	2	280	62	3	340	110	5	400	155	6	170	109	24	3	170	192	42	3	—	—	—	—
44	220	270	37	2	300	63	3	—	—	—	420	160	8	190	110	24	3	—	—	—	—	—	—	—	—
48	240	300	45	2,5	340	78	3,5	—	—	—	440	160	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
52	260	320	45	2,5	360	79	3,5	—	—	—	480	175	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
56	280	350	53	2,5	380	80	3,5	—	—	—	500	190	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	300	380	62	3	420	95	4	—	—	—	540	190	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
64	320	400	63	3	440	95	4	—	—	—	580	205	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
68	340	420	64	3	460	96	4	—	—	—	620	220	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
72	360	440	65	3	500	110	5	—	—	—	640	220	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

E 4,-

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten (Fortsetzung)

III. Spanlose Formung

Heft

Freiformschmiede I (Grundlagen, Werkstoff der Schmiede, Technologie des Schmiedens). 2. Aufl. Von F. W. Duesing und A. Stodt 11
Freiformschmiede II (Schmiedebeispiele). 2. Aufl. Von B. Preuss und A. Stodt . . 12
Freiformschmiede III (Einrichtung und Werkzeuge der Schmiede). 2. Aufl. Von A. Stodt 56
Gesenkschmiede I (Gestaltung und Verwendung der Werkzeuge). 2. Aufl. Von H. Kaessberg 31
Gesenkschmiede II (Herstellung und Behandlung der Werkzeuge). Von H. Kaessberg 58
Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle). Von A. Peter 41
Die Herstellung roher Schrauben I (Anstauchen der Köpfe). Von J. Berger 39
Stanztechnik I (Schnittechnik). Von E. Krabbe 44
Stanztechnik II (Die Bauteile des Schnittes). Von E. Krabbe 57
Stanztechnik III (Grundsätze für den Aufbau von Schnittwerkzeugen). Von E. Krabbe 59
Stanztechnik IV (Formstanzen). Von W. Sellin 60
Die Ziehtechnik in der Blechbearbeitung. 2. Aufl. Von W. Sellin 25

IV. Schweißen, Löten, Gießerei

Die neueren Schweißverfahren. 3. Aufl. Von P. Schimpke 13
Das Lichtbogenschweißen. 2. Aufl. Von E. Klosse 43
Praktische Regeln für den Elektroschweißer. Von Rud. Hesse 74
Widerstandsschweißen. Von Wolfgang Fahrenbach 73
Das Löten. 2. Aufl. Von W. Burstyn. (Im Druck) 28
Das ABC für den Modellbau. Von E. Kadlec 72
Modelltischlerei I (Allgemeines, einfachere Modelle). 2. Aufl. Von R. Löwer 14
Modelltischlerei II (Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen). 2. Aufl. Von R. Löwer 17
Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei. Von Fr. und Fe. Brobeck 37
Kupolofenbetrieb. 2. Aufl. Von C. Irresberger. (Vergriffen) 10
Handformerei. Von F. Naumann 70
Maschinenformerei. Von U. Lohse 66
Formsandaufbereitung und Gußputzerei. Von U. Lohse 68

V. Antriebe, Getriebe, Vorrichtungen

Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine. Von O. Weidling 54
Die Getriebe der Werkzeugmaschinen I (Aufbau der Getriebe für Drehbewegungen). Von H. Rögnitz 55
Die Zahnformen der Zahnräder. Von H. Trier 47
Einbau und Wartung der Wälzlager. Von W. Jürgensmeyer 29
Teilkopfarbeiten. 2. Aufl. Von W. Pockrandt 6
Spannen im Maschinenbau. Von Fr. Klautke 51
Der Vorrichtungsbau I (Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze). 3. Aufl. Von F. Grünhagen 33
Der Vorrichtungsbau II (Typische Einzelvorrichtungen, Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen). 2. Aufl. Von F. Grünhagen . . 35
Der Vorrichtungsbau III (Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vorrichtungen). Von F. Grünhagen 42

VI. Prüfen, Messen, Anreißen, Rechnen

Werkstoffprüfung (Metalle). 2. Aufl. Von P. Riebensahm 34
Metallographie. Von O. Mies 64
Technische Winkelmessungen. 2. Aufl. Von G. Berndt 18
Messen und Prüfen von Gewinden. Von K. Kress 65
Das Anreißen in Maschinenbau-Werkstätten. 2. Aufl. Von F. Klautke 3
Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau. Von A. Dorl 38
Technisches Rechnen I. 2. Aufl. Von V. Happach 52
Der Dreher als Rechner. 2. Aufl. Von E. Busch 63
Prüfen und Instandhalten von Werkzeugen und anderen Betriebsmitteln. Von P. Heinze 67

BG Politechniki Śląskiej w Gliwicach
nr inw.: 102 - 121663
Dyr.1 121663

Die Wälzlager. Von Direktor ... Bildern, 41 Tabellen und 5 Tafeln ...

Gestaltung von Wälzlager ... er, Schweinfurt. (Konstruktionsbücher. Herausgegeben von Professor Dr.-Ing. E.-A. Cornelius, Berlin. Band 4.) Mit 134 Abbildungen. IV, 92 Seiten. 1939. RM 4.80

Die Wälzlager, Kugel- und Rollenlager. Unter Mitwirkung des Herausgebers bearbeitet von Ingenieur **Hans Behr**, Berlin (Berechnung, Konstruktion und Herstellung der Wälzlager) und Oberingenieur **Max Gohlke**, Schweinfurt (Verwendung der Wälzlager). Zugleich zweite Auflage des von W. Ahrens, Winterthur, verfaßten Buches „Die Kugellager und ihre Verwendung im Maschinenbau". (Einzelkonstruktionen aus dem Maschinenbau. Heft 4.) Mit 250 Textabbildungen. V, 126 Seiten. 1925. RM 6.48

Stock, Fräser-Handbuch. Bearbeitet im Versuchsfeld der R. Stock & Co. A.-G., Berlin-Marienfelde. Zweite Auflage in Vorbereitung.

Pfauter-Wälzfräsen. Des Ingenieurs Taschenbuch für die Wälzfräserei mit Pfauter-Fräserkatalog. Mit Normenblättern, Zahlentafeln und 257 Bildern. 288 Seiten. 1933. Gebunden RM 5.—

Fräsen. Herausgegeben aus Anlaß des 40jährigen Bestehens des Wanderer-Fräsmaschinenbaues von **Wanderer-Werke Aktiengesellschaft**, Siegmar-Schönau. Mit 152 Abbildungen und 1 Bildtafel. 89 Seiten. 1939. Gebunden RM 6.60

Schnitte und Stanzen. Ein Lehr- und Nachschlagebuch für Studium und Praxis. Von Betriebsingenieur **Ernst Göhre**.

Erster Band: **Schnitte.** Mit 183 Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln. VI, 192 Seiten. 1927. RM 12.15; gebunden RM 14.40

Zweiter Band: **Biegestanzen und Biege-Verbundwerkzeuge.** Mit 302 Abbildungen im Text. VI, 230 Seiten. 1930. RM 18.—; gebunden RM 20.70

Die moderne Stanzerei. Ein Buch für die Praxis mit Aufgaben und Lösungen. Von Ingenieur **Eugen Kaczmarek**. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 186 Textabbildungen. VIII, 209 Seiten. 1929. RM 11.70; gebunden RM 12.96

Taschenbuch für Schnitt- und Stanzwerkzeuge und dafür bewährte **Böhler-Werkzeugstähle.** Von Dr.-Ing. **G. Oehler.** Zweite, verbesserte Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen, Literatur-Nachweisen, Konstruktions- und Berechnungsbeispielen. VI, 136 Seiten. 1938. Gebunden RM 8.70