

Die Anwendung grosser Stützkugellager für vertikalachsige Wasserturbinen in der Schweiz

Autor(en): **Schoch, F.C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **65/66 (1915)**

Heft 18

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-32308>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Die Anwendung grosser Stützkugellager für vertikalachsige Wasserturbinen in der Schweiz — Wohnkolonie der Eisenbahner-Baugenossenschaft Biel. — Der Zusammenstoss auf der Station Dietikon der S. B. E. am 17. August 1915. — Bericht über die Wassermessungs-Exkursion des S. I. A. nach Bern, Ackersand und Fully vom 18. bis 20. September 1915. — Nekrologie: Ernst Doser. — Konkurrenzen: Bürgerheim auf dem Sälihof in Luzern. — Miscellanea: Eine Dampfschaukel von 4,6 m³ Fassung. Kohlenlagerplatz und Brikettfabrik auf der Klybeckinsel in Basel. Ueber die Lebens-

dauer von hölzernen Wasserleitungen. Starkstromunfälle in der Schweiz. Kantonbank Schaffhausen. Beseitigung der unterirdischen Stromzuführung bei der Wiener Strassenbahn. Escher Wyss & Cie. Treib-Seelisberg-Bahn. Die XXVIII. Generalversammlung des Schweizer. Elektrotechnischen Vereins. Vom Panamakanal. Neubauten für die Eidgenössische Technische Hochschule. — Vereinsnachrichten: Gesellschaft ehemaliger Studierender: Stellenvermittlung.

Tafel 26 und 27: Die Eisenbahner-Kolonie in Biel.

Band 66.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und unter genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 18.

Die Anwendung grosser Stützkugellager für vertikalachsige Wasserturbinen in der Schweiz.

Von Max F. C. Schoch, dipl. Ing., Zürich.

Die Anwendung von Stützkugellagern für vertikalachsige Turbinen hat infolge der damit verbundenen Reduktion der Anlagekosten und der Sparsamkeit im Betriebe das Interesse der Konstrukteure und in ebenso grossem Masse der Betriebsleiter gefunden. Im allgemeinen Maschinenbau sind Stützkugellager zwar schon längst in tausenden von Ausführungen erprobt worden, doch zögerte man lange, und nicht ohne Ursache, Lager für grosse Belastungen und relativ hohe Umlaufzahlen zu bauen. Als vor neun Jahren eine Erstanwendung gewagt wurde, war man in Fachkreisen sehr pessimistisch. Das Härten von grossen Kugeln und Ringen bot nämlich damals wesentliche Schwierigkeiten und es mussten besondere Härteanlagen gebaut werden. Es ist das Verdienst der *Deutschen Waffen- und Munitionsfabriken*, die erforderlichen Vorrichtungen und Verfahren geschaffen und die ersten grossen Lager dieser Art so gleich betriebsfertig ausgeführt zu haben.

Das erste Turbinen-Stützkugellager für höhere Belastungen wurde 1906 von der *A.-G. vorm. Joh. Jacob Rieter & Cie.* in Töss in einer für die Kammgarnspinnerei Derendingen bestimmten vertikalachsigen Turbine geliefert. Es handelte sich dabei um 20 t Belastung bei 60 Uml/min; die Abmessungen sind 305 × 445 × 110 mm (Abb. 1). Das äusserst einfache Lager ist einreihig und mit einem balligen Unterring versehen; es läuft heute noch an der Turbine, ohne je die kleinste Störung verursacht zu haben, wurde nie herausgenommen und zeichnet sich durch einen sehr ruhigen und bemerkenswert leichten Gang aus.

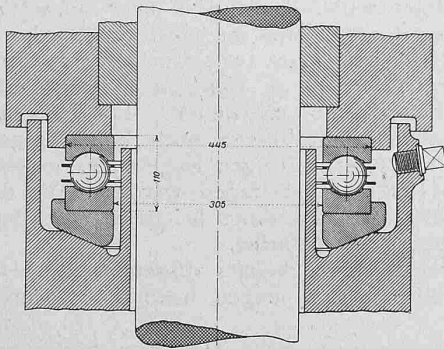


Abb. 1. Erstes Turbinen-Stützkugellager für 20 t und 60 Uml/min.

Nachdem sich das Lager in zweijährigem Betrieb glänzend bewährt hatte, rüstete die Firma Rieter zwei Turbinen für die Société des Usines hydro-électriques de Montbovon mit genau gleichen Lagern aus, die eine Belastung von 15 t bei einer Umlaufzahl von 300 in der Minute zu übertragen hatten. Auch diese Lager haben sich ganz ausgezeichnet bewährt, sodass die Frage der Verwendung grosser Stützkugellager für vertikalachsige Turbinen als grundsätzlich gelöst betrachtet werden konnte und die Lösung den beiden genannten Firmen zur Ehre gereichte.

Seit diesen ersten Anwendungen ist man weiter geschritten. Die fortwährende Verbesserung des Stahls und die Vervollkommnung der Einrichtungen, besonders auch der Kontrollverfahren, gestatteten die Fabrikation immer grösserer Lager.

Schon im folgenden Jahre, also 1909, baute die Firma Rieter Lager für 45 t Belastung bei 187,5 Uml/min in drei

für die Usine de l'Olberg in Fribourg bestimmte Turbinen ein. Der damalige Stand der Technik, sowie der Umstand, dass die Einwirkung der Fliehkraft bei einreihigen Lagern, die natürlich schon ganz beträchtliche Kugeln und Durchmesser gehabt hätten, zu gross geworden wäre, veranlasste die Deutschen Waffen- und Munitionsfabriken, doppelreihige Lager vorzuschlagen. Ringe und Kugeln werden dann natürlich entsprechend kleiner.

Während sich bei einreihigen Lagern sehr grosse Schwierigkeiten betreffend Ausführung eingestellt hätten, war es nun die Frage der Druckverteilung, die in den Vordergrund trat. Selbstverständlich muss bei der Anordnung von zwei Ringen verlangt werden, dass beide ihren Abmessungen gemäss belastet werden.

Das Problem war keineswegs einfach zu lösen. Man versuchte zuerst, durch Herabsetzung der Umlaufzahl zum Ziele zu gelangen, indem man die beiden konformen übereinander liegenden Kugelreihen auf einem gemeinsamen mittleren Ring laufen liess. Der Druck war dann bei diesen sogen. Etagenlagern auf beiden Lagerhälften der volle, die Umlaufzahl theoretisch jedoch nur die halbe. Trotzdem die zulässige Belastung mit der abnehmenden Umlaufzahl erheblich steigt, besonders bei kleinen Werten, sah man von dieser Konstruktion ab, da Versuche ergaben, dass die nach der Theorie erwartete Verringerung der Umlaufzahl, verschiedener Umstände halber, nicht immer mit Sicherheit erzielt wurde. Immerhin haben sich diese Lagerungen bei Schiffskreiseln gut bewährt.

Man versuchte dann die Druckverteilung auf die beiden Lagerhälften, bzw. auf zwei gleiche einreihige Stützkugellager durch Anwendung elastischer Unterlagen zu bewirken. Aber es stellte sich heraus, dass solche Unterlagen nie den genau gleichen Grad von Elastizität besitzen, und die Versuche mussten als unfruchtbar wieder aufgegeben werden.

Andere Konstruktionen bezweckten, die Kräfteverteilung durch Hebelübersetzung zu erreichen; zu diesen gehört nun auch die von der Firma Rieter für die letztgenannten Lager und seither immer wieder angewandte Konstruktion.

Zwei einreihige konzentrische Stützkugellager tragen auf ihren oberen Ringen eine Lage von 16 trapezförmigen Drucksegmenten, die mit zwei Wülsten auf den oberen Laufingen aufliegen. Auf ihren Oberseiten sind sie mit einem dritten Wulste versehen, auf den der Gesamtdruck vom Gehäuse mittelst eines schmiedeisernen Ringes übertragen wird. Da das äussere, grössere Lager mehr belastet werden kann und muss, ist dieser Ring etwas über die Mitte nach aussen versetzt.

Die genannten Lager für die drei 2500 PS-Turbinen hatten 17 und 25 Kugeln von 2 1/2" Durchmesser. Die Abmessungen des Lagers können aus der Abbildung 2 ersehen werden; eine Ansicht gibt Abbildung 3 (verg. S. 204).

Die Betriebsleitung schreibt u. a. über diese Lager:

„Il ne nous a pas été possible de contrôler la consommation d'huile seule pour les paliers à billes: ceux-ci sont alimentés par des réservoirs à filtre, dans lesquels vient s'ajouter l'huile sortant des paliers supérieurs des génératrices. Il n'est pas ajouté d'autre huile nouvelle dans ces réservoirs. Ainsi donc la consommation principale d'huile est faite par les deux paliers inférieurs¹⁾. L'objet principal des dépenses pour réparation a été la refonte des coussinets, mais remarquons que cette opération aurait été évitée si les arbres avaient été droits et les rotors équilibrés. Nous avons eu donc là une dépense exceptionnelle.“

¹⁾ Es betrifft dies radiale Gleitlager.

Sehr bemerkenswert ist der Einbau eines einreihigen Lagers für 50 t Belastung bei 33 Uml/min durch die A.-G. der Maschinenfabrik von Theodor Bell & Cie., Kriens, im Jahre 1910. Dieses Lager dürfte wohl das meistbeanspruchte Lager mit einer Kugelreihe sein, die für grosse Belastungen für Vertikalturbinen bis heute zum Einbau gelangt sind. Es ist mit dem Radialdruck-Gleitlager kom-

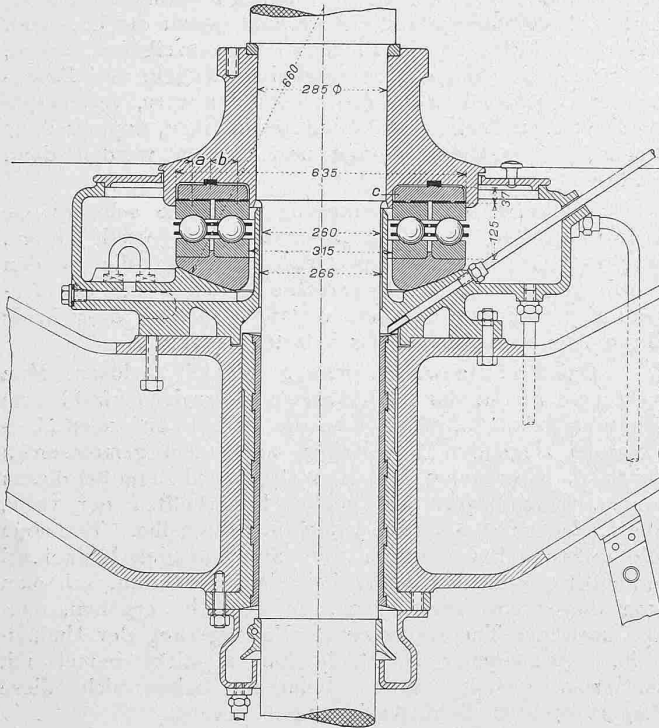


Abb. 2. Turbinen-Stützkugellager für 45 t bei 187 Uml/min in der Usine de l'Oelberg in Freiburg. — Masstab 1 : 15.

biniert; auf der Welle sitzt aber ein Zahnradwinkelgetriebe, das bei etwa $33/135$ Uml/min intermittierend 780 PS zu übertragen hat. Die vertikale Welle wird durch den Zahndruck auf Biegung beansprucht, und zwar so, dass die Durchbiegung sich fortwährend verändert. Trotz dieser ungünstigen Verhältnisse musste das neue Lager erst nach fünfjährigem Gebrauch ersetzt und repariert werden. Seither wurde es allerdings aufs neue defekt, und da es in diesem Zustande noch wochenlang arbeiten musste, lief es dermassen aus, dass eine Reparatur unmöglich war. Es wurde nun durch ein Gleitlager ersetzt. Es ist immerhin sicher, dass die heutige Herstellungsweise und das jetzt verwendete Material noch bessere Resultate hätten erzielen lassen.

Auch in die Turbinen des Elektrizitätswerkes der Stadt Aarau wurden 1911 von der A.-G. der Maschinenfabrik von Theodor Bell & Cie. einreihige Kugellager eingebaut; die Belastung war in diesem Falle 42 t bei einer Umlaufzahl von 87 i. d. M. Die Leistung der Turbinen ist 1600 PS bei 5 m Gefälle und $31,2$ m³/sek Wassermenge. Bei diesen Lagern wurde die Erfahrung gemacht, dass die Distanzbolzen der Kugelkäfige mehr beansprucht wurden, als vorausgesehen war. Sie waren ursprünglich aus Messing hergestellt, mussten aber später durch Stahlbolzen ersetzt werden. Die neuen Käfige sind ausserdem zweiteilig und können daher leicht demontiert werden.

Die Firma Bell hat übrigens mit den Kugellagern so günstige Erfahrungen gemacht, dass sie in ihren neuen Projekten solche immer empfiehlt. Unter anderem wurde auch bereits von dieser Seite der Umbau der Turbinen des Kraftwerkes Beznau von Oeldrucklagerung auf Kugellagerung vorgenommen; die Lager sind für 60 t Belastung bei 67 Uml/min berechnet und haben eine Kugelreihe mit 24 Kugeln von $2\frac{5}{8}$ " Durchmesser, während die Höhe 155 mm beträgt.

Damit, dass zwei der grössten schweizerischen Turbinenfabriken ihre zum Teil ganz ausgezeichneten, immer aber guten Erfahrungen mit dem Einbau von D-W-F-Kugellagern gemacht hatten, war ihre Bedeutung auch klar festgestellt. Bedeutete der Einbau eines Lagers für 20 t Belastung vor neun Jahren noch ein Ereignis, so sind heute weit grössere Lager schon zu „Normalien“ geworden. Im

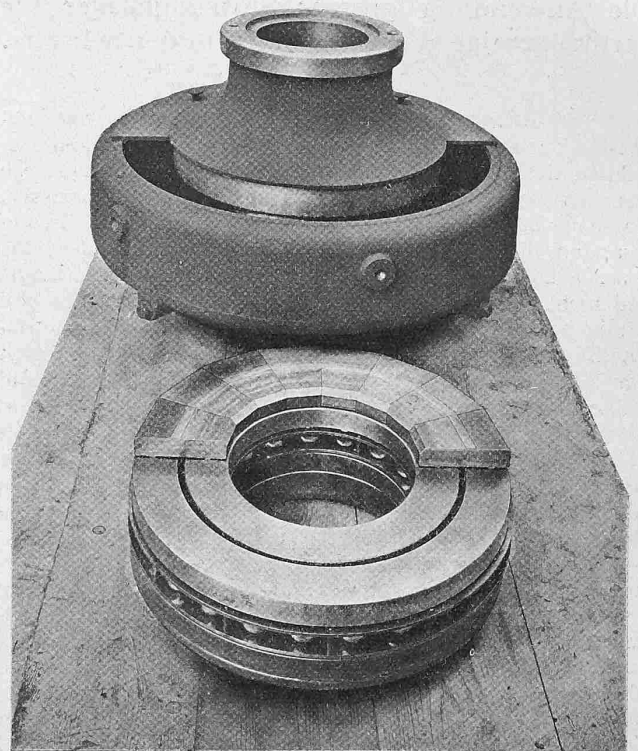


Abb. 3. Ansicht des Kugellagers in Abb. 2 nach Patent D. W. F.

Laufe der Zeit wurden von den beiden genannten schweizerischen Maschinenfabriken etwas über 30 solcher Lager für 10 bis 30 t Belastung mit einer Kugelreihe eingebaut, so zum Beispiel im Jahre 1913 von der Firma Rieter zehn Stück für 21,6 t bei 47 Uml/min in die Turbinen der Zürcher Pumpstation im Letten. Für intermittierenden Betrieb ist man bei Pressen noch höher gegangen mit der Belastung einer einzigen Kugelreihe, indem 80 t bei 70 bis 80 Uml/min übertragen werden. Für den Dauerbetrieb würde man allerdings bei denselben Abmessungen nicht so hoch gehen dürfen.

Soweit über die bereits ausgeführten Anlagen. Die Resultate der Praxis mögen nochmals zusammengefasst werden:

Es zeigte sich, dass einreihige Stützkugellager bei 42 t Belastung und 87 Uml/min, doppelreihige bei 45 t Belastung und 167,6 Uml/min ganz zuverlässig arbeiten; auf Grund dieser Erfahrungen sind bereits einreihige Stützkugellager für 60 t Belastung bei 67 Uml/min, und doppelreihige Lager für 120 t Belastung und 84,5 Uml/min bestellt worden.

Besonders die beschriebene Anordnung für die Druckverteilung bei doppelreihigen Systemen hat sich ausgezeichnet bewährt. Trotzdem ist vielerseits der Wunsch ausgesprochen worden, dass die Kontrolle der beiden Systeme erleichtert, d. h. auch das innen gelegene System leicht zugänglich gemacht werde. Es ist allerdings wesentlich, dass etwa auftretende Defekte, die ja immerhin vorkommen können, möglichst bald entdeckt werden. Je schneller dies geschieht, umso niedriger im Preis stellt sich die Reparatur, das Nachschleifen. Wenn schon diese Kosten im allgemeinen der Lieferantin der Kugellager zur Last fallen, weil solche Defekte sich fast immer nach kurzer Zeit, also in der Garantiezeit zeigen, so kann doch durch rasches

Auswechseln ein grösserer Schaden vermieden werden. Es kann dann event. ein Reservelager eingesetzt und die Störung in kürzester Frist behoben werden, voraussichtlich schneller, als dies bei einem heissgelaufenen Oeldrucklager der Fall sein kann.

Eine leichte Kontrollierbarkeit und zugleich noch andere wesentliche Vorteile bietet nun die neueste patentierte Konstruktion der Deutschen Waffen- und Munitionsfabriken. Wie aus der Abbildung 4 hervorgeht, sind zwei genau gleiche, einreihige Stützkugellager mit balligem Unterering übereinander angeordnet. Die Druckverteilung auf diese beiden Lager geschieht durch Segmente, wie bei konzentrischen Lagern, nur wird der Druck auf das untere Lager durch eine Hülse übertragen. Die Kontrolle der

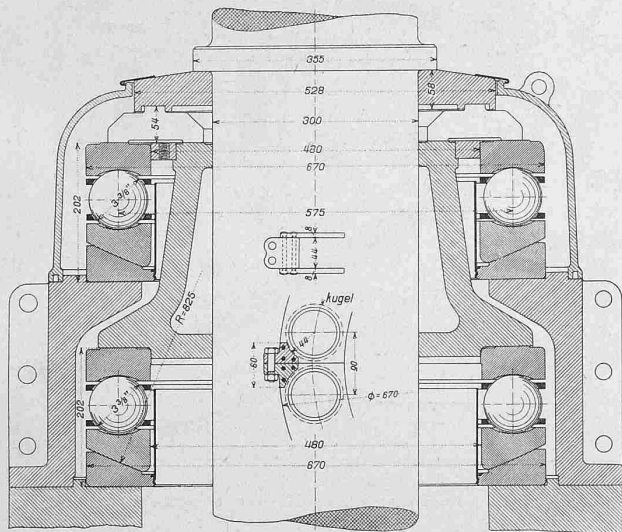


Abb. 4. Turbinen-Stützkugellager, Patent der D. W. F. — 1 : 10.

oberen Hälfte kann durch Abheben des mit Oesen versehenen Deckels leicht geschehen, das untere Lager ist nach seitlichem Abziehen der einen Hälfte des geteilten Lagerkörpers zugänglich. Da die Käfige zweiteilig sind, können nach leichtem Anheben die Kugeln samt Käfig herausgenommen werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass nur ein einfaches Lager als Reserve benötigt wird, und dass die Ringe kleiner gehalten werden können, als der äussere Laufring bei einem doppelreihigen konzentrischen Lager wäre. Solche Lager für etwa 100 t würden zweimal 20 Kugeln von $3\frac{3}{8}$ " Durchmesser erhalten. Dass auch diese Lager allen Anforderungen gerecht würden, darf nach dem vorherigen wohl nicht mehr angezweifelt werden.

Erwähnt sei noch, dass das Kraftwerk Olten-Gösgen drei Turbinen mit Kugellagern für 120 t Belastung bei 83,4 Uml/min erhalten soll. Die Firma Rieter hat die Lieferung dieser Turbinen übernommen. Die Abmessungen dieser patentierten Stützkugellager sind aus Abb. 5 ersichtlich.

Es dürfte wohl nun noch interessieren, wie solche Lager berechnet werden. Die Berechnungen basieren alle in der Hauptsache auf die praktische Erfahrung. Die Bruchlasten der Kugeln sind für die unteren und oberen Grenzen festgelegt. Der Durchmesser wird in den nachfolgenden Berechnungen immer in $\frac{1}{8}$ " eingesetzt, sodass sich für eine Kugel von z. B. $3\frac{3}{8}$ " $\Phi = \frac{27}{8}$ ", bei einer mittleren Bruchlast von

$$P_b = 400 d^2$$

eine Bruchlast von $400 \cdot 27 = 291600 \text{ kg}$ ergibt.

Diese Bruchbelastung ist aber für die Berechnung der Lager nicht massgebend, da vor dem Bruch der Kugeln schon Risse auftreten. Die Belastung, bei der dies geschieht, heisst die Sprungbelastung; sie berechnet sich zu

$$P_{sp} = 50 d^2$$

Für $d = 3\frac{3}{8}$ " ist sie dann = 36450 kg .

Nun versteht sich aber diese Belastung für das Zerdrücken von einer Kugel zwischen zwei andern. Bei einem Lager ändern sich die Verhältnisse wesentlich. Die Sprungbelastung ist etwa das Doppelte, wenn die Kugel zwischen geeigneten konstruierten Laufbahnen zerdrückt wird, gegenüber dem Fall der Einspannung zwischen zwei Kugeln, andererseits aber sind die Kugeln in Bewegung und es ist zu berücksichtigen, dass die Belastung wohl nicht mathematisch genau auf alle Kugeln verteilt sein dürfte.

Die Abhängigkeit der Belastung von der Umlaufzahl ist für einige grössere Lager in Abbildung 6 angegeben. Besonders für kleine Tourenzahlen ist der Unterschied in der zulässigen Belastung für kleine Aenderungen sehr bedeutend. Auf Grund praktischer Angaben zeigte sich,

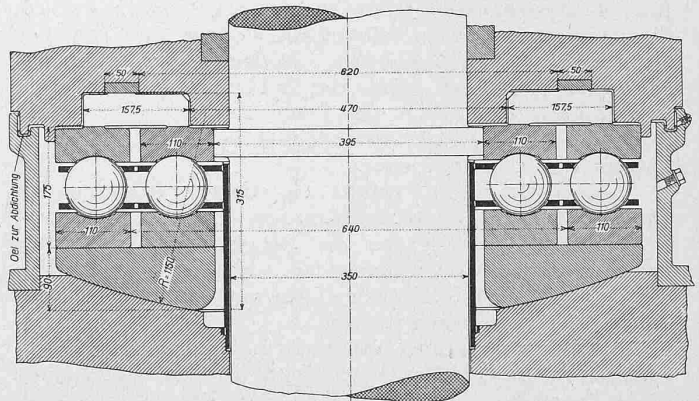


Abb. 5. Stützkugellager, Patent d. D. W. F.; 120 t, 83,4 Uml/min. — 1 : 10.

dass die zulässige Belastung für grosse Lager bei 75 bis 80 Uml/min etwa $\frac{1}{10}$ der Sprungbelastung ist, wie sie aus der oben genannten Formel berechnet werden kann.

Es wäre demnach für die beispielsweise erwähnten Lager:

$$P_{zul} = \frac{36450 \cdot 40}{10} = 135800 \text{ t}$$

die maximale zulässige Belastung.

Die gemachten Angaben stammen aus zuverlässiger Quelle; dennoch soll nicht unterlassen werden, darauf hinzuweisen, dass man immer gut tut, reichlich zu rechnen, und geringe Mehrkosten nicht zu scheuen, die durch etwas reichliche Dimensionierung resultieren. Insbesondere müssen Fälle, in denen Stösse oder Durchbiegungen der Welle vorkommen können, mit einem entsprechenden Sicherheitsgrad gerechnet werden.

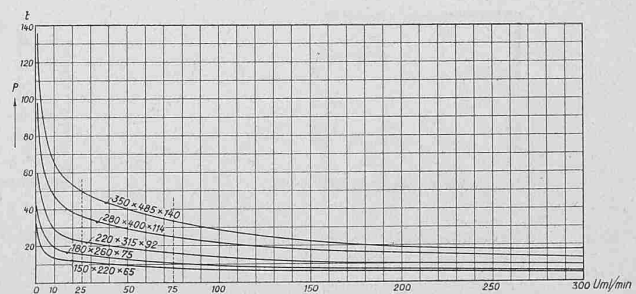


Abb. 6. Abhängigkeit der Belastung von der Umlaufzahl.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass in neuester Zeit Lager für Turbinen für 200 t Belastung von der Firma Rieter projektiert worden sind, was wohl zur Genüge beweist, welches Vertrauen diese Firma in die Stützkugellager setzt.

Es ist als sehr wahrscheinlich anzusehen, dass die Stützkugellager die Oeldrucklager nach und nach verdrängen und somit die Konstruktion der Turbinen durch die Einführung dieses neuen Maschinenelementes bedeutend vereinfacht werden wird.