

United States Department of the Interior  
Bureau of Reclamation  
Denver Office

Translation No.: 2207  
Team No.: General  
Book No.: 12,997  
Paper No.:

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

SELF-LUBRICATING BEARINGS IN STEEL ENGINEERING AND TURBINE  
CONSTRUCTION

[Selbstschmierende Gleitlager im Stahlwasser- und Turbinenbau]

by

Karl Kohler

Source:

«WASSERWIRTSCHAFT»

Journal for Water Management and Technology in Environmental  
Protection

Volume 82, February 1992, 2/92

Pages 78 - 88

Translated by:

Inge C. Hollingsworth

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

International Affairs Technical Services Office  
Code D-7200

USBR Translations  
Denver, Colorado  
June 1992

Translation No.:  
Team No.: General  
Book No.: 12,997  
Paper No.:

SELF-LUBRICATING BEARINGS IN STEEL ENGINEERING AND TURBINE  
CONSTRUCTION

[Selbstschmierende Gleitlager im Stahlwasser- und Turbinenbau]

by

Karl Kohler

ABSTRACT

Experience and developments in the field of maintenance-free self-lubricating plain bearings are so far advanced today that their long-term successful application is assured. The time has come for hydraulic facilities to stop polluting waterways with grease and oil. The range of application includes the entire field of turbine construction and hydraulic steel engineering. Specific criteria, experience and development trends are highlighted and typical application examples are shown.

## 1 CRITERIA - WHY SELF-LUBRICATING PLAIN BEARINGS?

The generation of electricity through hydro-power is proclaimed to be the "cleanest method of energy generation" nowadays. And justifiably so! In new facilities or after improvements made to existing plants, it would be inconsistent to continue pumping tons of lubricants into the water through the bearings, in spite of well-tested solutions for maintenance-free, self-lubricating bearings being available on the market.

Experience has shown that those in charge frequently ignore these modern solutions, since consultants, manufacturers and operators simply don't or can't have the confidence or knowledge required in the use of these materials. Often there is no transfer of know-how from the manufacturer of the materials to the user. But both groups have special knowledge that they should exchange and optimize together. Wrong decisions could thus be avoided.

According to studies conducted by the Allianz Versicherung/Deutschland, the cause of numerous instances of bearing damage in water turbines can be found in the wrong selection and the incorrect use of the bearings offered on the market. It follows that "cheap mass-produced items" should not be used for these important elements, since the costs incurred as a result of bearing damage are completely out of proportion compared to the purchasing costs. At the present, we must face the following facts:

- Environmental protection requirements will become stricter all the time.
- The operators demand clean machines and clean work places.
- Pollution through lubricants increases the risk of accidents during maintenance as well as service.

- Maintenance-free or at least low-maintenance facilities are required to achieve economic feasibility and a decrease in operating personnel.
- The availability of machines is a decisive factor with respect to energy supply.
- Problems with bearings always result in stopped machines.
- The installation and removal of bearings takes time and money.

For these reasons, plant designers, engineers and operators increasingly prefer the replacement of lubricated bearings with maintenance-free, self-lubricating bearing materials. This is true for new facilities as well as remodelled or repaired equipment. The decisive factors are:

- Safety.
- Life period.
- Long-term guarantee.
- Delivery time.
- Availability of information.
- Experience.
- References.
- Load capacity in extreme cases.
- Safe mounting.
- Simplicity of exchange.
- Economy.
- Oil hole, lines and lubricants are no longer needed.

## 2 EXPERIENCE

Because the bearings are so important, the absence of risk, i.e., the safety of these elements, is of principal interest to the decision makers. Self-lubricating bearings were widely used in hydraulic steel engineering as early as 25 years ago (see Figures 1 and 2). Extremely positive experience in a large number of plants has been available in this respect for a long time.

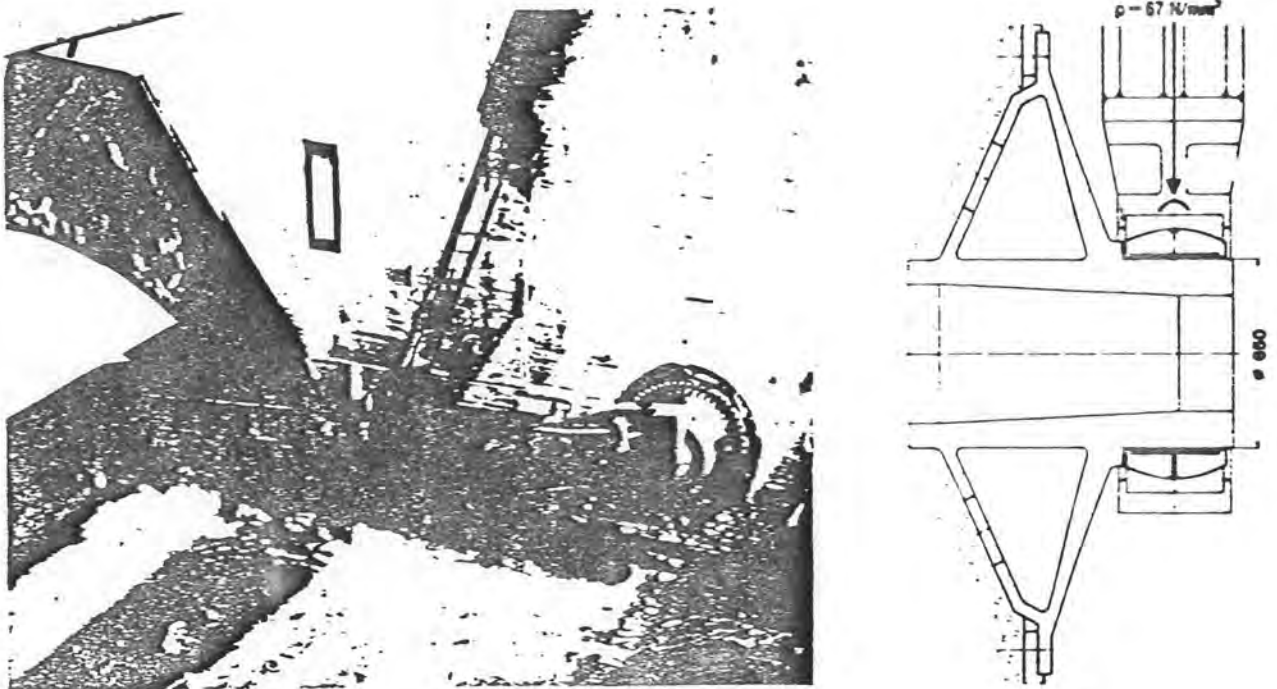


Figure 1: Bearing of the segmentation weir in the Kisköre/Theiß dam

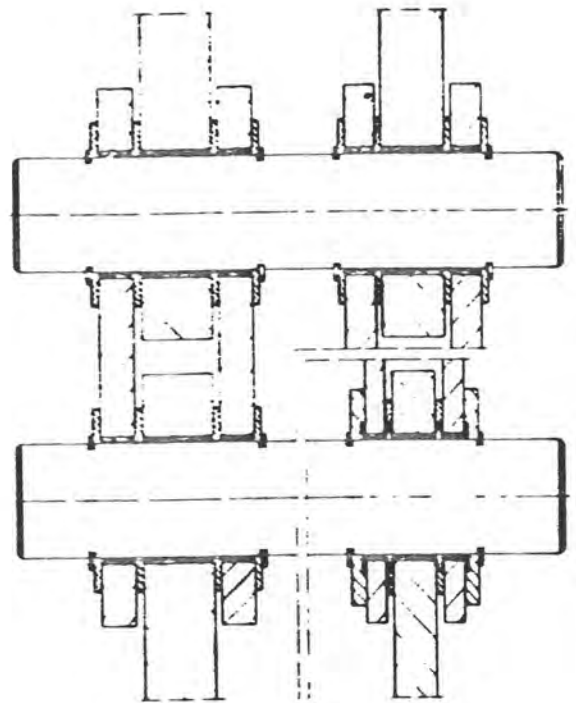
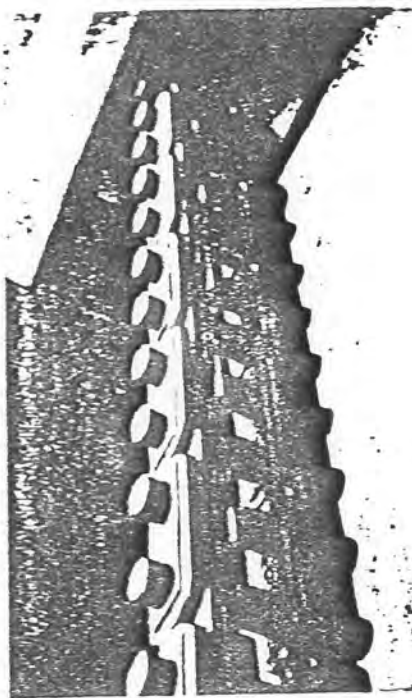


Figure 2: Lift chains for the sluice gates of the Donaukraftwerke [Danube Power Plant], Austria

For several decades, the maintenance-free, self-lubricating bearings of DEVA have worked well in various steel facilities, as for instance in:

- Cut-off facilities.
- Roller gates.
- Segment gates.
- Sluices.
- Shutter weirs.
- Plate link chains.
- Trash screen cleaning machines.

For more than 15 years, extensive experience in practical operating applications has been available for water turbines and pumps (Figures 3 and 4). Leading products in the line of self-lubricating bearings were tested against each other and evaluated in existing facilities. In the process, the best suited materials were identified and used (Figure 5).

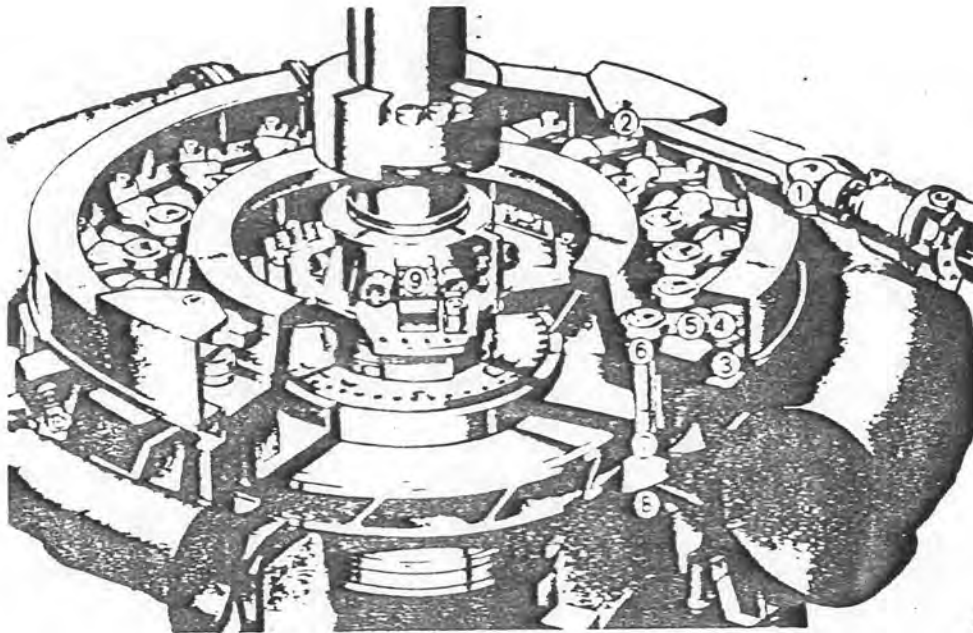


Figure 3: Application examples -  
Application in water turbines

Application in Francis, Kaplan and Pelton turbines,  
as well as various construction forms, e.g.,  
spiral, pipe, Straflo, bulb and pump turbines

- 1 Bearings of the servomotor driving the control ring
- 2 Connection of the servomotor to the control ring
- 3 Bearing of the control ring (axial and radial  
by means of gliding segments)
- 4 Connection of the steering levers to the control ring
- 5 Bearing of the steering levers
- 6 Bearing of the guide vanes "top"
- 7 Bearing of the guide vanes "center"
- 8 Bearing of the guide vanes "bottom"
- 9 Lower main bearing (water-lubricated)

Not shown: In Kaplan turbines -  
Bearing of the rotor blades and their adjustment  
device

Not shown: In Pelton turbines -  
Bearing of the needle valves and deflectors



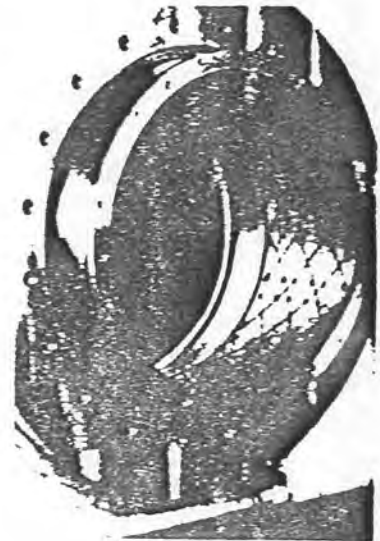
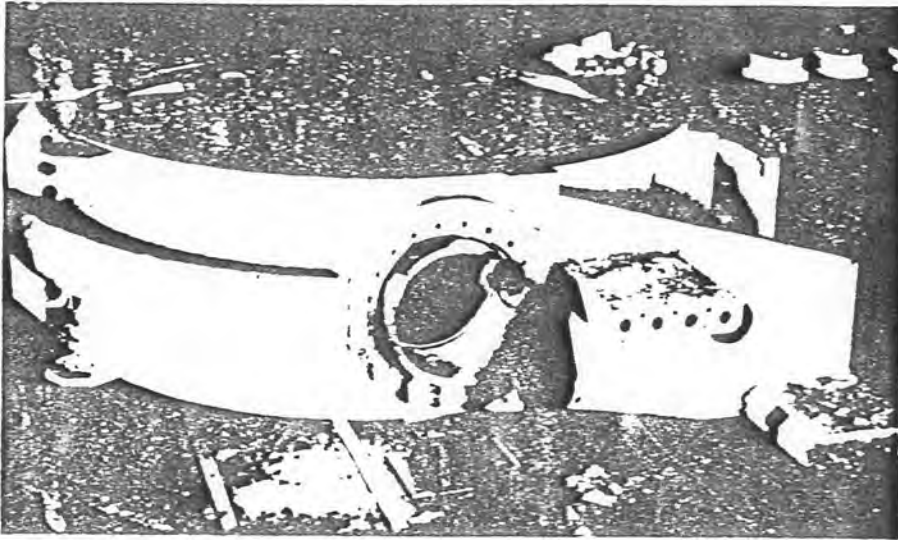


Figure 4: Application examples in shut-offs

Bearing of the plate of shut-offs NW 4000 for  
the pressure tunnel inlet of the "Guavo" Hydroplant,  
Colombia

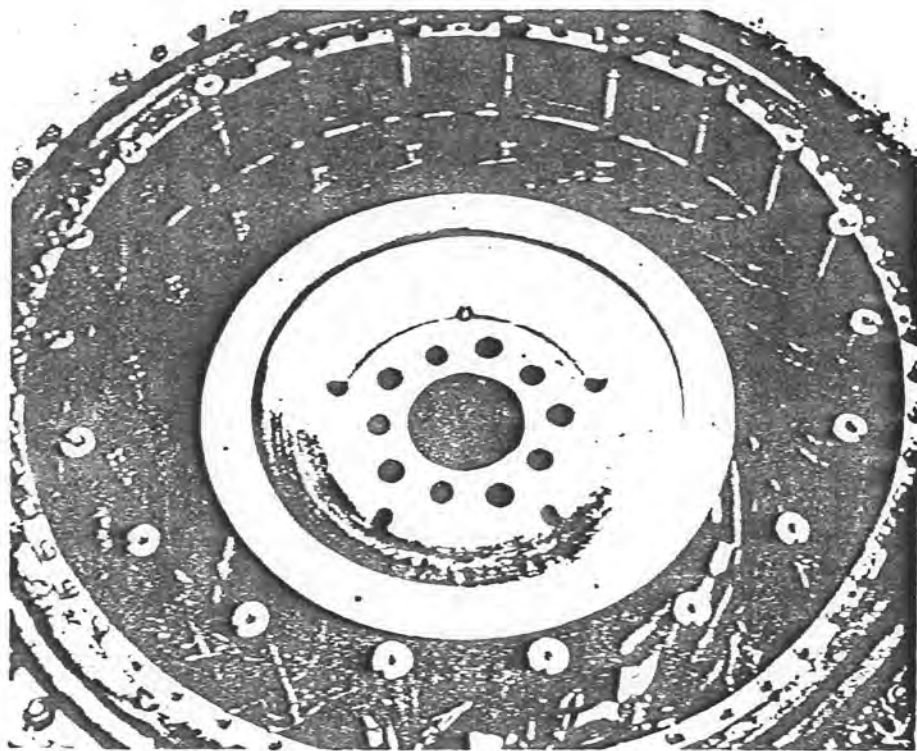
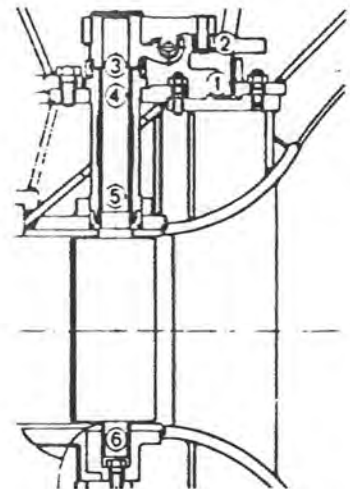


Figure 5: Francis spiral turbine, made completely maintenance-free with DEVA gliding parts

ALZWERKE GMBH

- (1) Control ring (axial and radial)
- (2) Steering lever
- (3) Guide vane (axial)
- (4) Guide vane, top
- (5) Guide vane, center
- (6) Guide vane, bottom



In order to develop reliable and meaningful aids for decision-making, the author himself has carried out series of experiments in existing turbines over extended time periods under unfavorable conditions, e.g., sandy and highly polluted operating water. *Important facts* were derived from these experiments:

- In hydraulic turbine engineering, the bearings are always wet, even when sealed; in most cases, they are even filled with water to a higher or lesser degree.
- Therefore, the bearing itself as well as the contact surfaces should be corrosion-resistant; for instance, the guide vane handle should be equipped with a sleeve or made completely of chromium steel.

In the selection of a suitable bearing material and the overall design, their special features are determined based on the function of the individual components and their interaction within the system, e.g.:

- The hardness of the bearing material.
- The corrosion requirements for the bearing material, based on the environment or the medium worked with.
- The influence of the component (abrasive effect) on the bearing material.
- The surface roughness of the bearing material.
- The design of the bearing material within the area of the glide system.

Almost all turbine guide vane bearings (Figure 6) are operating in polluted water nowadays. In addition, some micro-abrasion occurs in maintenance-free bearings. This material, as well as penetrating dirt, must be able to work its way out of the bearing automatically. If this is not possible, due to the bearing design or the choice of materials used, damage will occur after an extended period of operation, e.g., at the guide vane handle or at the bearing surfaces, resulting in subsequent costly treatment of these surfaces at the next overhaul - which is absolutely undesirable. Cleaning grooves, for instance those by DEVA-Bandmetall, have been used effectively to prevent this problem.

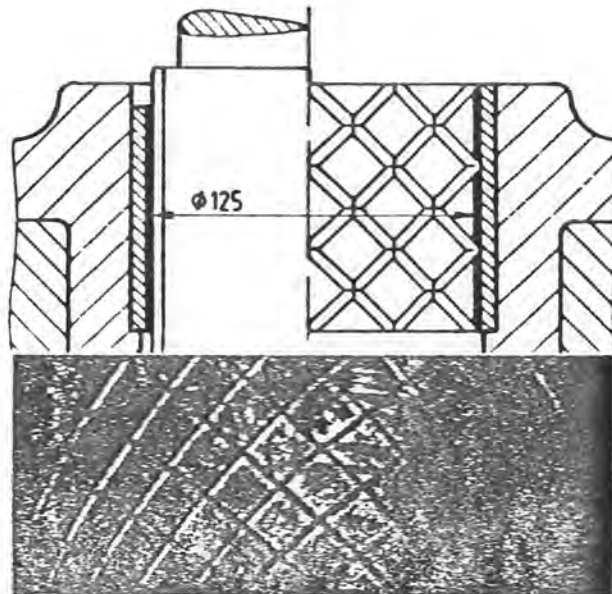


Figure 6: Guide vanes with cleaning grooves

### 3 FUNCTION OF METALLIC MAINTENANCE-FREE SELF-LUBRICATING PLAIN BEARINGS

The most important basis for the function of the materials working together is the presence of a metallic matrix and solid lubricants, deposited there by pre-loading. On the one hand, the metallic matrix offers desirable stability characteristics, and on the other, the solid lubricant, deposited under pre-loading, can be released with little resistance during wear. Thus, solid lubricant is released through micro-abrasion and self-lubrication of the gliding parts is assured (Figure 7).

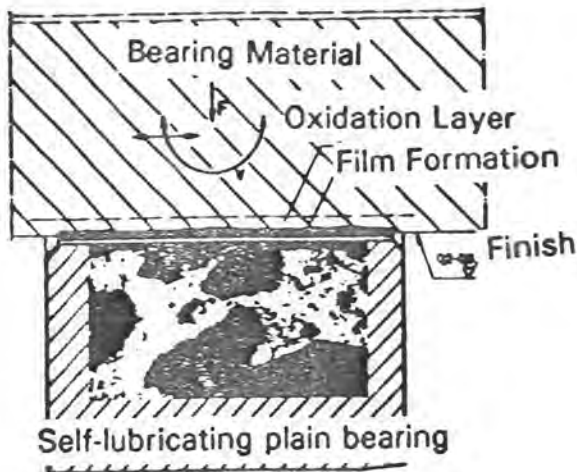


Figure 7:

Representation of the gliding process with solid lubricants

In metallic maintenance-free, self-lubricating bearings, the solid lubricant assumes the task of forming a continuous lubrication film through movement, separating the gliding parts from each other. From the very first gliding movements on, and supported by the excessive presence of solid lubricant of the specific inlet port, it fills the micro-roughnesses of the gliding partners, smooths them out and - taking advantage of the surface pressure - forms highly polished, closely adhering lubrication films on the glide material that are transferred to the bearing material as well.

In PTFE (polytetrafluoroethene) glide materials, the friction coefficient is a little better than that of bearings with a metallic matrix. However, the friction coefficient is only one criterion and is by itself insufficient in the evaluation of a bearing material and its efficiency.

For water turbines, the following factors are very decisive and have a significantly greater influence:

- Load capacity.
- Resistance to dirt.
- Thickness of layer of wear.
- Emergency operating characteristics.
- Feasibility of subsequent treatment.
- Corrosion resistance.
- Resistance against temperatures.

In the correct selection of bearings, the sum of all criteria must be observed, in order to prevent premature failure and long-term damage. In practical application, load capacity, resistance to dirt and an adequate gliding layer proved to be the most important criteria. Only when they are met, pressure at the edge - inevitable in turbine engineering - has no effect, and sufficient amounts of lubricant are available without endangering important machine components, even during long periods of operation. The following information shows that in this respect, there are major differences in the design of the most frequently used materials:

#### Material designation

|            |                                            |
|------------|--------------------------------------------|
| DEVA-BM    | Thickness of glide layer > 1.00 mm         |
| DU         | Thickness of glide layer $\approx$ 0.30 mm |
| FIBERGLIDE | Thickness of glide layer $\approx$ 0.60 mm |



#### 4 LIFE

Based on experience gathered to date, it is safe to say that under normal conditions, highly-qualified products available on the market are definitely able to resist an overhaul cycle of 25 years, which is the norm in hydraulic turbine engineering. Thus, the self-lubricating bearings are no longer a criterion for premature turbine reconditioning. The required safety and lasting, maintenance-free function are definitely guaranteed.

Following the investigation of damages in many turbine bearings, the insurance company Allianz-Versicherung arrived at the following conclusion:

"It must be realized that such bearings are subject to wear and tear and must, therefore, be changed at regular intervals. On the average, two years of operation at 10 000 operating hours for Teflon inserts and 25 000 operating hours maximum for bronze sleeves are assumed."

With respect to the operating hours stated, it must be kept in mind that this report was published by an insurance company that is concerned about the prevention of damages it might be liable for, so that a very short life was stated for that reason. In this context, it is interesting to note that Allianz Versicherung stated a life for bronze-based bearings (e.g., those by DEVA) that is 2.5 longer than that for bearings with Teflon inserts. This agrees with the experiences gathered over the past 15 plus years. Also important is the fact that in bearings with a metallic structure, a sudden total destruction - in other words a catastrophe - is hardly likely, since a sufficiently thick, self-lubricating glide layer is always present, which makes a sudden destruction of the bearings, due to edge pressure or specific operating conditions, practically impossible.

## 5 BAND METAL PLAIN BEARING

In addition to lower costs, the development of so-called BM plain bearings also resulted in improved, simplified bearing installation. In BM plain bearings, tight seating axially and radially is guaranteed when the correct fit is selected and the socket is properly made. Also important is the corrosion resistance of the bearing material, so that potential back-rusting is avoided.

Various maintenance-free, self-lubricating BM plain bearings and their major characteristics can be classified as follows:

---

### COMPARISON OF VARIOUS MAINTENANCE-FREE, SELF-LUBRICATING BM PLAIN BEARINGS AND THEIR MAJOR CHARACTERISTICS

---

| Plain bearings with metal/graphite glide                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Plain bearing with PTFE glide layer                                                                                                                                                                                                             | Plain bearing with plastic fiber glide layer                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- maintenance-free, self-lubricating</li><li>- high load capacity</li><li>- dirt resistant</li><li>- self-cleaning due to cleaning grooves</li><li>- good emergency characteristics</li><li>- can be reworked due to thick glide layer</li><li>- corrosion resistant</li><li>- resistant to edge pressure</li><li>- resistant to temperature</li><li>- no damage to bearing surface</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- maintenance-free, self-lubricating</li><li>- good gliding characteristics due to low friction coefficient</li><li>- high load capacity</li><li>- economical, due to large number manufactured</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- maintenance-free, self-lubricating</li><li>- good gliding characteristics due to low friction coefficient</li><li>- high load capacity</li><li>- corrosion resistant</li><li>- resistant to edge pressure</li><li>- worked well also in pump turbines</li></ul> |

---



## 6 LOADS

Theoretically, most self-lubricating plain bearings allow rather high specific pressures (approximately up to 300 N/mm<sup>2</sup> static); however, for a useful engineering principle, this value should be limited to

$$P_{\text{spec}} = 15 \text{ N/mm}^2 \text{ to } 20 \text{ N/mm}^2$$

This relatively low value considers the long life, which is desirable in turbines in particular, by including the effect of loads and friction path on wear, as well as uncertainties regarding loads and dynamic factors, and takes into account the demand for safety with respect to construction and elements.

When load and frequency of movement (friction path) are clearly known, this value may be increased to approximately 80 to 100 N/mm<sup>2</sup> without problems.

## 7 OTHER APPLICATION EXAMPLES

Several other application examples are illustrated in Figures 8 through 11. They show a guide vane bearing, the bearing of the control ring, the jet pins in Pelton turbines, as well as a ball slide.

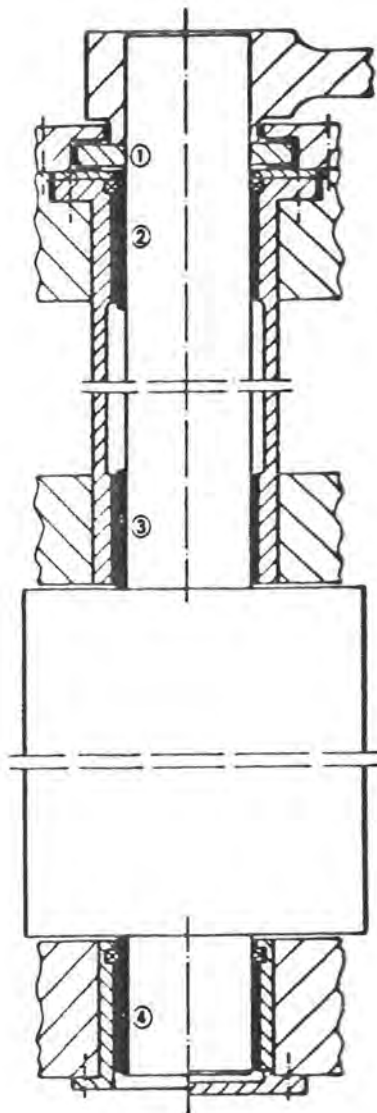


Figure 8:

Guide vane bearing

- (1) Guide vane (axial)
- (2) Guide vane, top
- (3) Guide vane, center
- (4) Guide vane, bottom

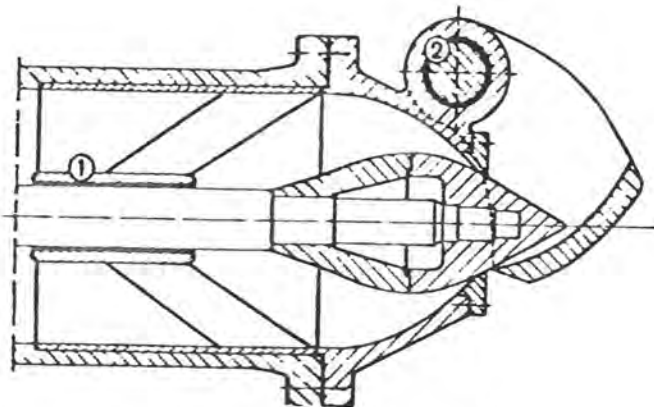


Figure 9: Jet pin bearing (1) and deflectors (2) in Pelton turbines

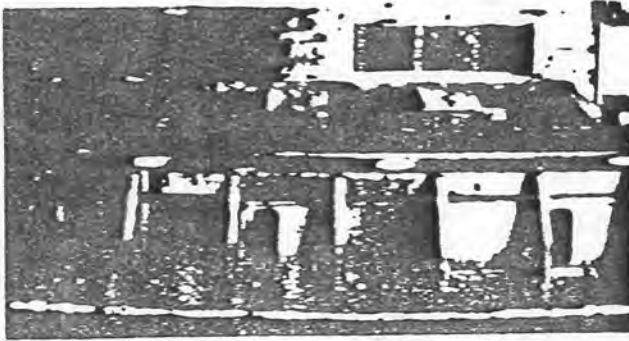


Figure 10:

Bearing of the control ring of  
the Francis spiral turbine,  
Itaipul, Brazil

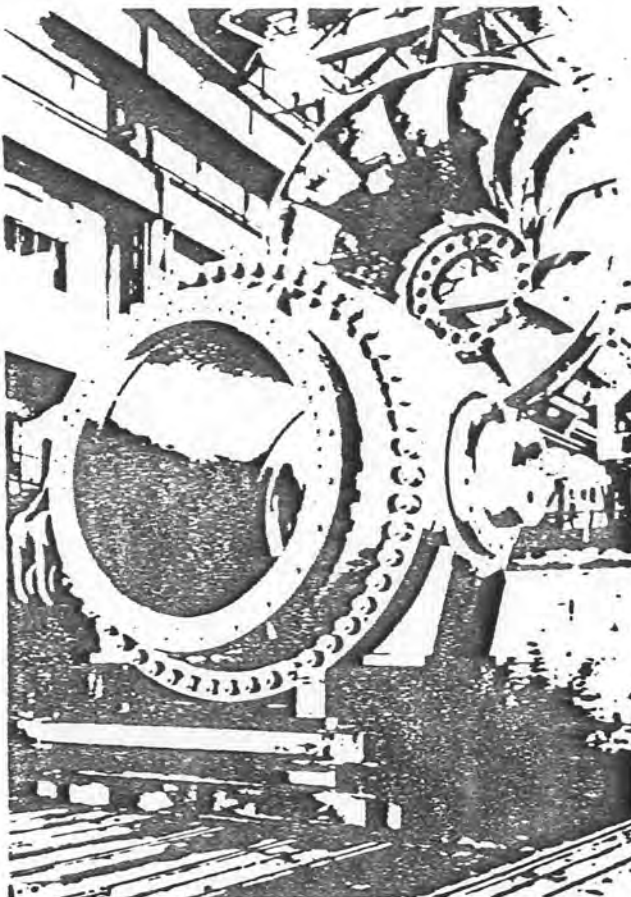
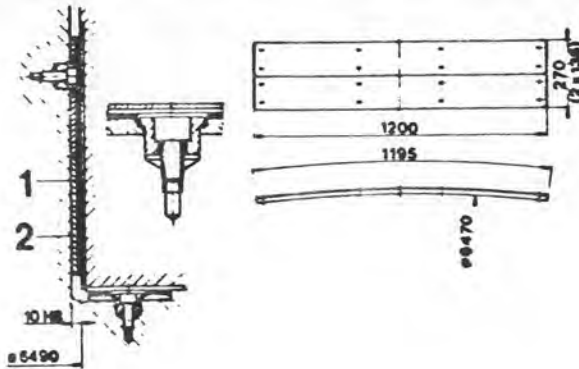


Figure 11:

Ball slide for the Raccoon  
Mountain, USA, pumped storage  
facility

## 8 COST

Due to the manufacturing process and material components, the cost of self-lubricating bearings is higher than that of a conventional, grease-lubricating bronze bearing. A comparison of the total cost required for either variant, based on numerous analyses, indicates clearly that the use of maintenance-free, self-lubricating bearings does not make construction more expensive.

Since oil holes in many machine parts, lubricant lines, armatures, lubricating devices and their mounting costs, as well as the recurring expenses for maintenance and lubricants are avoided, the higher cost for the bearings themselves is compensated without problem. It is wrong, therefore, to use cheap products for such important machine elements; factors like life and safety should rank much higher. In hydraulic turbine engineering, it is important to guarantee an operation that is as safe and free from problems and maintenance as possible for a long period of time, until the time for the next maintenance cycle has come. It is also important to ensure that the bearing that are inaccessible even for interim check-ups work problem-free for the required period of time.

## 9 PUMP TURBINES

To date, about ten years of experience with self-lubricating bearings in pump turbines are available. It should be pointed out that due to special operating conditions, pump turbines are exposed to more stress, which engineers are trying to off-set through complex and advanced technology.

Extreme operating conditions and transitions are placing a great deal of stress especially on the guide vanes and their bearings. In addition, the maximum stresses, dynamic forces and vibration frequencies and amplitudes can hardly be predicted exactly under transient conditions. Due to vibration damping, it is essential that the bearing clearances be as small as possible. However, the deflection of the guide vanes themselves requires more bearing clearance, in order to account for the dreaded edge pressure. An optimized compromise can be achieved only through intensive communication between the manufacturers of turbines and bearings, resp.

If self-lubricating bearings are specified for pump turbines - and the maintenance-free feature would be especially important for pump turbines - their construction must allow a simple exchange of the bearings, since the life of the guide vane bearings is still rather limited. The achievement of a life of approximately 8 to 10 years with intensive use would certainly mean a break-through, if and when that should happen. For bearings tested to date, the life expectancy is approximately four to five years. Of course, these pump turbines are often not used constantly, so that the life is longer in most cases.

Manufacturers of metallic materials really emphasized the development of self-lubricating bearings for extreme application cases, in an effort to achieve the demanded life expectancy of 10 years. In addition, improvements were made in the meantime also in hydraulic developments through quieter operation and less vibration.

## 10 TURBINE GUIDE BEARINGS

To date, the idea of installing water-lubricated bearings has not been widely accepted, although good experiences have been made with them in a large number of vertical turbines for a long time. This is even more surprising considering that thousands of turbines exist that are presently lubricated with oil or grease and that a conversion to oil- or grease-free bearings is not only possible but in the interest of environmental protection would also be very desirable. Two reasons in particular seem to be responsible for the fact that the available technical possibilities for this application have not been used to date:

- Experience gathered has not been sufficiently publicized. Operators as well as manufacturers try to avoid any experimenting and cannot accept the remaining risks.
- Operators capitulate again and again where the problem of providing filtered cooling/lubricating water is concerned. Although easily solved, it does tend to cause interruptions in the operation, due to possible clogging of the filters, and maintenance becomes necessary, which is exactly what they would like to avoid.

Nevertheless, it is hoped that this discussion will encourage a transition from oil- or grease-lubricated turbine guide bearings to water-lubricated bearings (Figure 12).

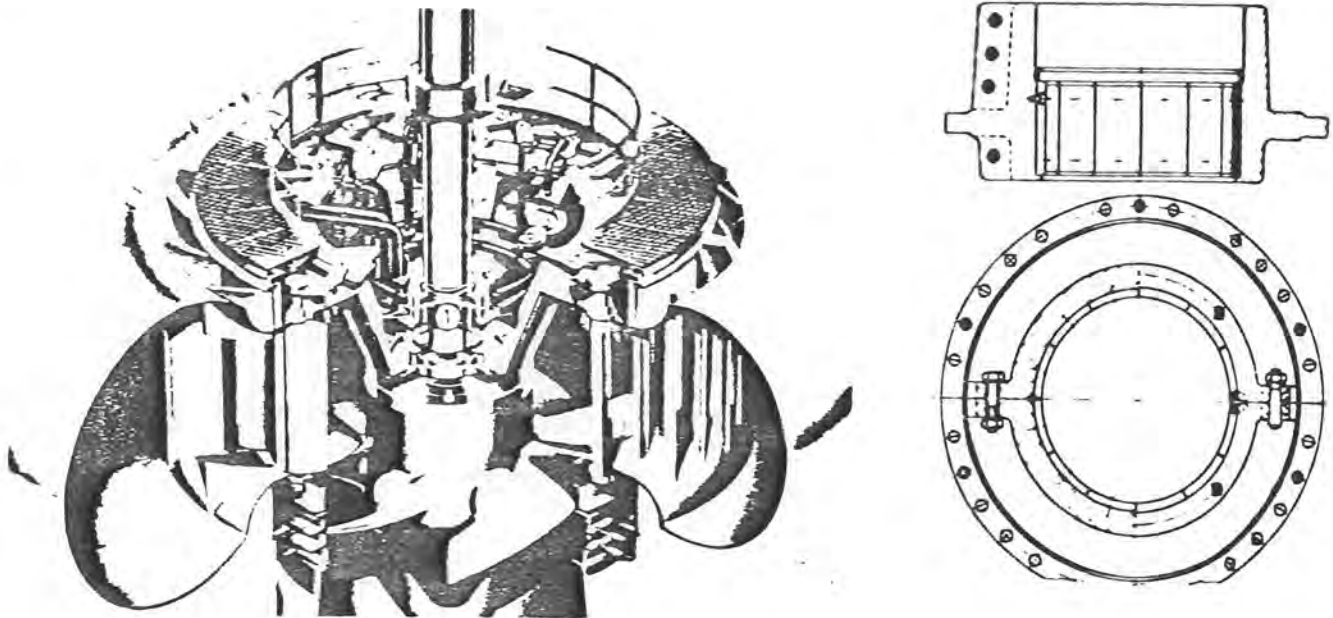


Figure 12:

(1) DEVA metal bearings

Conversion of the lower radial guide bearings (main bearing from grease to water lubrication) Kaplan turbine, shaft diameter 450 mm with water lubricated lower guide bearings



The following recommendations are made:

- The installation of a water-lubricated turbine shaft guide bearing should be clarified in cooperation with the manufacturer of plain bearings.
- Calculations regarding the plain bearing must be made, considering the most important operating conditions, including the diameter, rotational speed, load, and the temperature of the cooling medium (viscosity).
- In principle, but especially when working in polluted water, labyrinths above and below the plain bearing are recommended. They provide a better seal of the bearing, which prevents the penetration of pollutants, as well as the rapid outflow of the cooling water, supporting the formation of the hydrodynamic lubrication film.
- The cooling water should be introduced directly into the lubrication gap of the bearing with a pressure that is higher than the prevailing operating pressure.
- Especially in the case of two-part bearing, the bearing elements should be carefully attached to the bearing itself.
- The shaft should definitely be equipped with a protective sleeve of non-corrosive steel (e.g., 1.4122 hardened) minimum HB (Brinell hardness) 220 and a surface roughness of 0.2 to 0.8  $\mu\text{m Ra}$ .

Overhauls, reconditioning projects or new runner hubs of Kaplan turbines, where the servomotor is not located in the hub itself, offer an interesting application area for maintenance-free, self-lubricating plain bearings. High unilateral loads with unavoidable edge pressure are created at the relatively short pin bearing, since the blades are often extending relatively widely. This causes the wing seal in the lower area to be compressed radially, while leakage may occur in the upper area after a longer running period. Since these runner hubs are filled with oil, oil exits as a result, causing water pollution and/or other environmental problems.

In order to meet the requirements of environmental protection, the oil-lubricated bronze bearings used thus far were replaced with self-lubricating DEVA-BM plain bearings during overhauling. Due to the inevitable oil loss after years of operation and the required constant controls that were both time-consuming and costly, the runner hub, operated filled with oil, was filled with fully desalinated water, to which an inhibiting agent had been added as corrosion protection. The old oil-proof coating in the hub interior was removed through sand-blasting, and a triple coating of epoxy-resin based coaltar pitch was applied.

The complete runner hub, including the bearing, is now entirely maintenance-free. Constant controls and replacing of the used oil are no longer necessary. Considering that in the original construction, this was possible only after the turbine chamber was dried out and that divers and a crane were required for the setting of the head and tail water levels, it can be seen that the change in construction not only met the requirements of environmental protection, but in addition resulted in significant economical advantages; therefore, several other Kaplan runner hubs were converted successfully in the meantime.

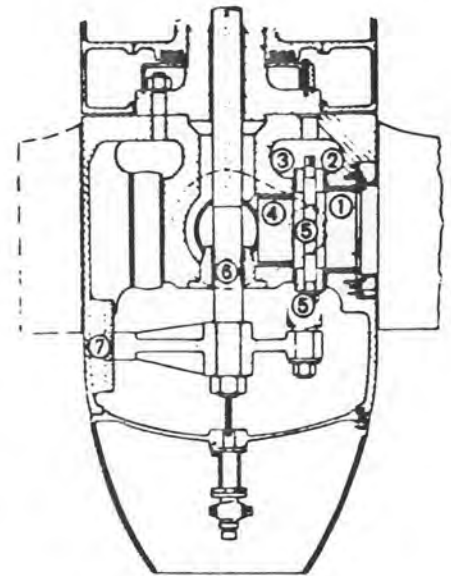
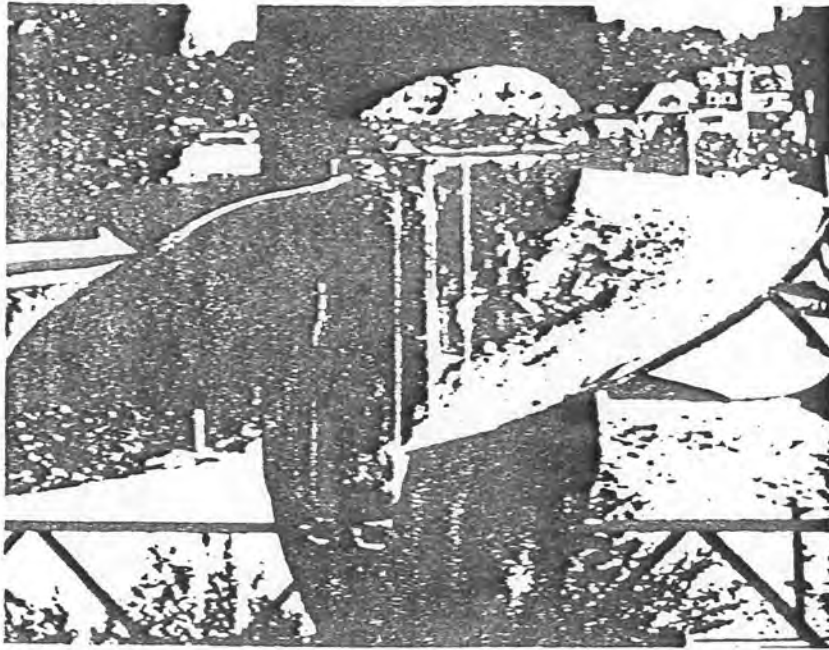


Figure 13:

Conversion of the bearing of the runner hub of Kaplan turbines with vertical shaft, Hydropower Plant Stiftsmühle and Hengstey REW, Germany

## 11 GENERAL

In order to avoid errors with respect to the fitting and installation and to ensure optimum use for each application, recommendations and/or suggestions should be obtained for all bearings from the manufacturer. The latter is making constant efforts to provide appropriate service for consulting firms and manufacturers and operators of turbines, and to offer intensive customer service and exchange of experience. Decisions regarding the use of maintenance-free, self-lubricating bearings are usually made early during a project study, while the specifications are developed. The future operators should definitely have some input at that stage. It is recommended that all concerned

- communicate with the engineers,
- have contact with those in charge of a project,
- communicate with the manufacturer of the bearings,
- make decisions jointly to ensure optimization.

Since today's engineers are under enormous pressure with respect to time and cost, clear and simple information documents are important. Information about the structure, manufacture and function of the maintenance-free, self-lubricating bearings is needed. In addition, knowledge and information about the influence factors and their consideration in the selection of the correct material are important, including surface pressure, gliding velocity, friction coefficient, frequency of movement, temperature, discharge of frictional heat, process of movement, corrosion, pollutants, stress through blows and impact, radiation, etc.

## 11 CONCLUSIONS

The demand for grease- and oil-free bearings in water turbines and hydraulic steel engineering is increasingly intensified. It is doubtful that turbines with lubricated bearings will be built and accepted at all in the future.

Since almost all operators wish to achieve increased efficiency of their machines through modernization, the overhauling of older turbines is of great importance. The reconstruction of the bearings should not be ignored under any circumstances. Among the advantages are:

- No environmental contamination through oil or grease.
- Maintenance-free turbines.
- Clean inside facilities.
- Simplification/automatization of facilities.
- Longer time periods between inspections and/or overhauls.
- Reduced risks and fewer problems.

All of the above advantages apply significantly to the maintenance-free, self-lubricating bearings discussed in this paper.

Address of the author: Karl Kohler, Ernst-Abbe-Str. 20, 7920 Heidenheim, Germany



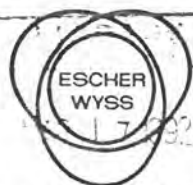
# WASSERWIRTSCHAFT

*Zeitschrift für Wasserwesen und Technik im Umweltschutz*

82. Jahrgang

Februar 1992

2/9

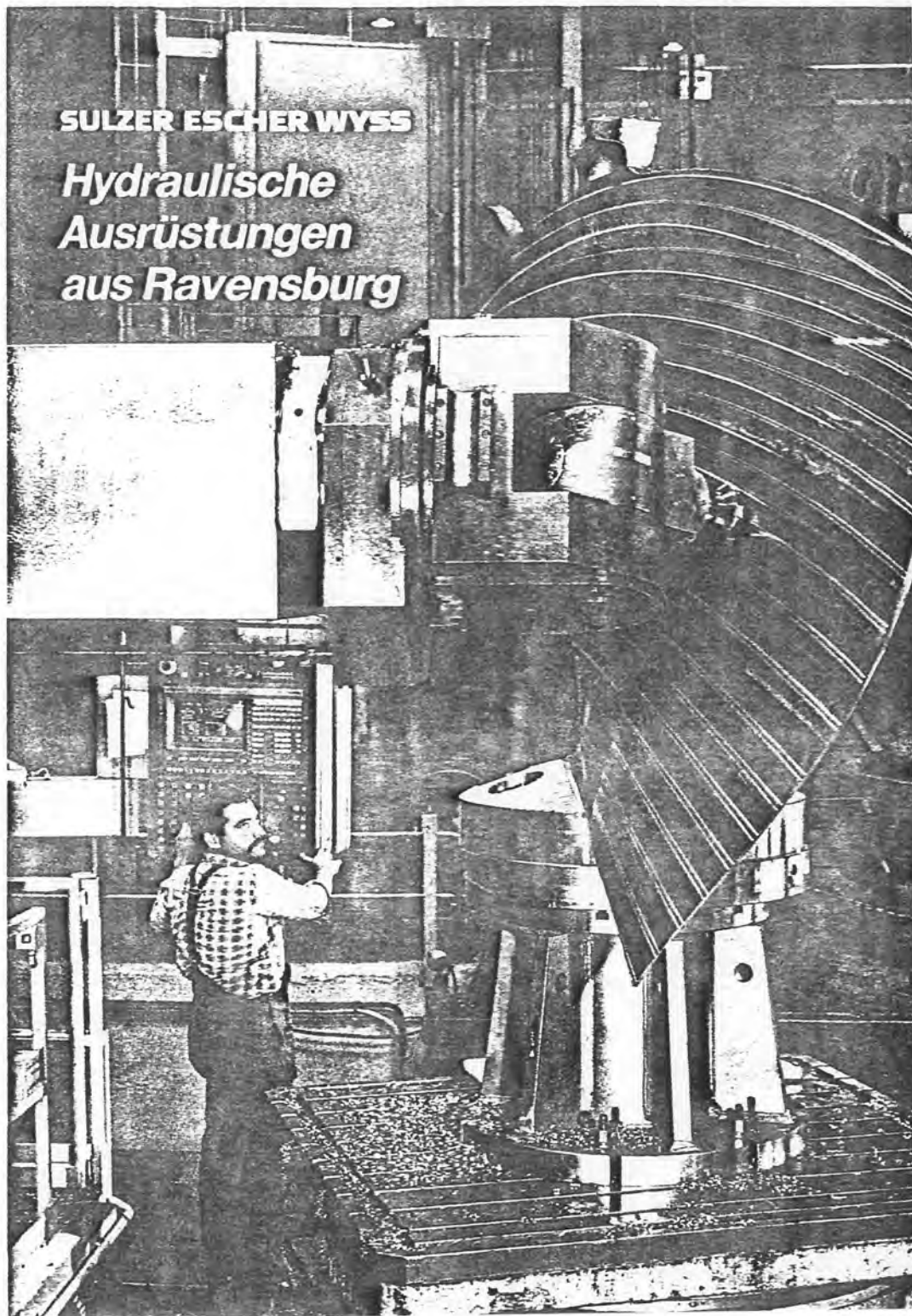


HYDRAULIK

Sulzer-Escher Wyss GmbH  
7980 Ravensburg  
Postfach 1380  
Telefon 07 51 / 8 30  
Telex 7 32 901  
Telefax 0751 83 2396

**SULZER ESCHER WYSS**

**Hydraulische  
Ausrüstungen  
aus Ravensburg**



*Fünfschneidige Fräsbearbeitung  
einer Kaplanschaufel  
in unserer Werkstatt.*

*Neue Kaplanlaufräder können  
in vielen Fällen die Leistung  
von bestehenden Flußkraft-  
werken steigern. Die durch  
numerische Strömungsrech-  
nungen optimierten Schaufel-  
profildaten steuern direkt die  
fünfschneidige Fräsbearbeitung.*

# Selbstschmierende Gleitlager im Stahlwasser- und Turbinenbau

## Self-lubricating Plain Bearings in Hydraulic Steel Engineering and Turbine Construction

### Kurzfassung / Abstract

Erfahrungen und Entwicklungen mit wartungsfreien, selbstschmierenden Gleitlagern sind heute so weit fortgeschritten, daß ein langfristiger, erfolgreicher Einsatz in der Praxis sichergestellt ist. Die Zeit ist da, daß über hydraulische Anlagen kein Fett oder Öl mehr die ohnehin stark strapazierten Flüsse noch weiter verunreinigen sollte. Der Anwendungsbereich umfaßt den gesamten Turbinen- und Stahlwasserbau. Einzelkriterien, Erfahrungen und Entwicklungstendenzen werden aufgezeigt, typische Anwendungsbeispiele dargestellt.

*Experience with and developments of maintenance-free self-lubricating plain bearings are so far advanced today, that long-term and successful operation in practical situations is assured. The time has come for hydraulic plants to stop polluting waterways already overloaded with grease and oil. Applications cover the entire turbine and hydraulic steel engineering field. Experience and development trends are highlighted, and typical applications illustrated.*

### 1 Kriterien – Warum selbstschmierende Gleitlager?

Die elektrische Energiegewinnung aus Wasserkraft wird heute als die „sauberste Energie“ proklamiert. Mit Recht! Inkonsequent wäre, wenn bei Neuanlagen oder nach Revisionen noch immer tonnenweise Schmierstoffe über die Lager ins Wasser gepumpt würden, obschon der Markt heute über bewährte Lösungen von wartungsfreien, selbstschmierenden Gleitlagern verfügt.

Die Erfahrung zeigt, daß die Verantwortlichen sich oft deshalb nicht für diese moderne Lösung entscheiden, weil Consultants, Hersteller und Betreiber einfach nicht das volle Vertrauen oder das nötige Fachwissen über diese Werkstoffe haben bzw. nicht haben können. Oft fehlt der Know-How-Transfer vom Werkstoffhersteller zum Anwender. Beide haben Spezialkenntnisse, die gemeinsam ergänzt und optimiert werden sollten. Damit könnten Fehlentscheidungen vermieden werden.

Nach Studien der Allianz-Versicherung/Deutschland sind die Ursachen vieler Lagerschäden bei Wasserturbinen in der falschen Auswahl und dem nicht richtigen Einsatz der auf dem Markt angebotenen Gleitlager zu suchen. Es ist demzufolge nicht richtig, für diese wichtigen Elemente „billige Massenprodukte“ anzuwenden, denn die Folgekosten bei Gleitlagerschäden stehen überhaupt nicht im Verhältnis zu den Beschaffungskosten. Heute sind wir mit folgenden Tatsachen konfrontiert:

- Die Umweltschutzbedingungen werden immer schärfer.

- Die Betreiber wollen saubere Maschinen, saubere Arbeitsplätze.
- Verschmutzung durch Schmierstoffe begünstigt die Unfallgefahr sowohl bei der Wartung als auch beim Service.
- Der Wunsch nach Rationalisierung und Einsparung von Bedienungspersonal verlangt wartungsfreie, zumindestens wartungsarme Anlagen.
- Maschinenverfügbarkeit ist ein entscheidender Faktor bei der Stromversorgung.
- Ausfall von Gleitlagern bedeutet immer Stillstand der Maschinen.
- Ein- und Ausbau von neuen Gleitlagern ist zeitaufwendig und teuer.

Deshalb bevorzugen heute immer mehr Anlagenplaner, Konstrukteure und Betreiber der bisher geschmierten Gleitlager durch wartungsfreie, selbstschmierende Lagerwerkstoffe zu ersetzen. Dies gilt sowohl für Neuanlagen als auch besonders für Umbauten und Reparaturen. Bestimmende Entscheidungsfaktoren sind:

- Sicherheit,
- Lebensdauer,
- Langzeitgarantie,
- Lieferzeit,
- Informationsverfügbarkeit,
- Erfahrungen,
- Referenzen,
- Belastbarkeit bei auftretenden Extremlastfällen,
- Montagesicherheit,
- einfache Auswechslungsmöglichkeit,
- Wirtschaftlichkeit,
- Wegfall der Schmierbohrungen, Leitungen und des Schmierstoffes.

### 2 Erfahrungen

Wegen der Bedeutung der Gleitlager ist für jeden Entscheidungsträger die Risikofreiheit bzw. die Sicherheit dieser Elemente grundlegend. Der verbreitete Einsatz von selbstschmierenden Gleitlagern im Stahlwasserbau begann bereits vor mehr als 25 Jahren (Bilder 1 und 2). Hier liegen seit langem außerordentlich positive Erfahrungen in einer großen Anzahl von Anlagen vor.

Seit Jahrzehnten arbeiten DEVA-Gleitlager wartungsfrei, selbstschmierend, selbst unter schwierigsten Betriebsbedingungen in den verschiedensten Einrichtungen des Stahlwasserbaues, wie z.B. in

- Absperreinrichtungen,
- Rollschützen,
- Segmentschützen,
- Stemmtoeren,
- Klappen,



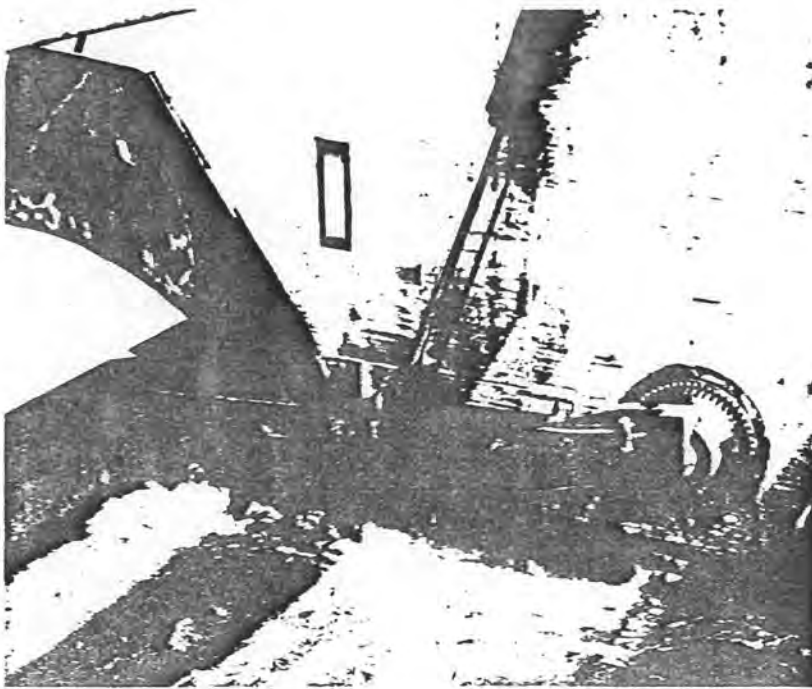
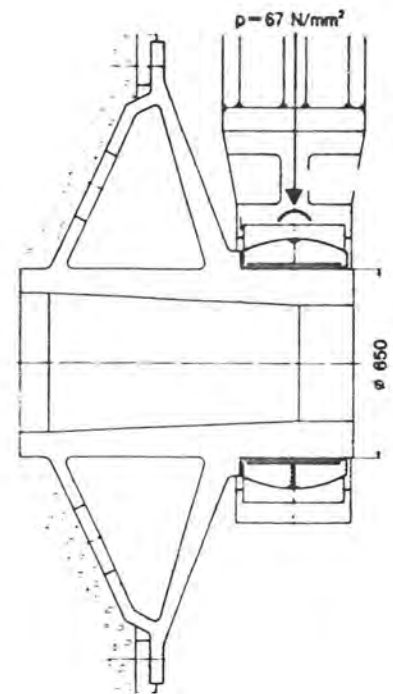


Bild 1: Lagerung der Segmentwehre in der Staustufe Kisköre/Theiß (Ungarn)



- Gallische Ketten,
- Rechenreinigungsmaschinen.

Bei Wasserturbinen und Pumpen liegen nunmehr seit über 15 Jahren umfangreiche Erfahrungen aus dem praktischen Betriebseinsatz vor (Bilder 3 und 4). In bestehenden Anlagen wurden wiederholt die führenden Produkte wartungsfreier, selbstschmierender Gleitlager zueinander getestet und ausgewertet. Dabei konnten die bestgeeignetsten Werkstoffe erkannt und genutzt werden (Bild 5).

Der Verfasser selbst hat an bestehenden Turbinen unter ungünstigen Bedingungen, wie sandhaltiges und stark ver-

schmutztes Betriebswasser über längeren Zeitraum Versuchsreihen durchgeführt, um sichere und aussagefähige Entscheidungshilfen zu erarbeiten. Aus diesen Versuchen resultieren wichtige Erkenntnisse:

- Im Wasserturbinenbau sind die Lager auch bei Abdichtung immer feucht, meistens sogar mit mehr oder weniger Wasser gefüllt.
- Deshalb sollte das Lager selbst korrosionsbeständig sein und auch die Gegenlaufflächen, z.B. der Leitschaufelstiel mit einer Büchse oder ganz aus Chromstahl ausgeführt werden.

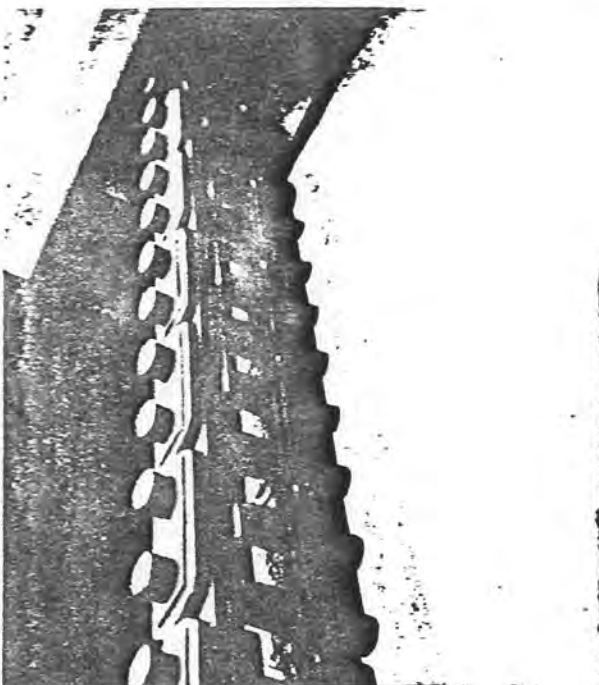
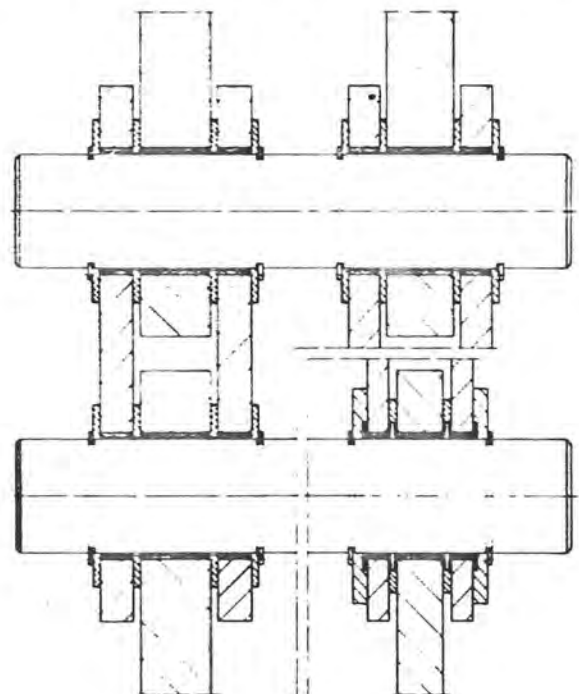


Bild 2: Hubketten für Schleusentore der Donaukraftwerke, Österreich



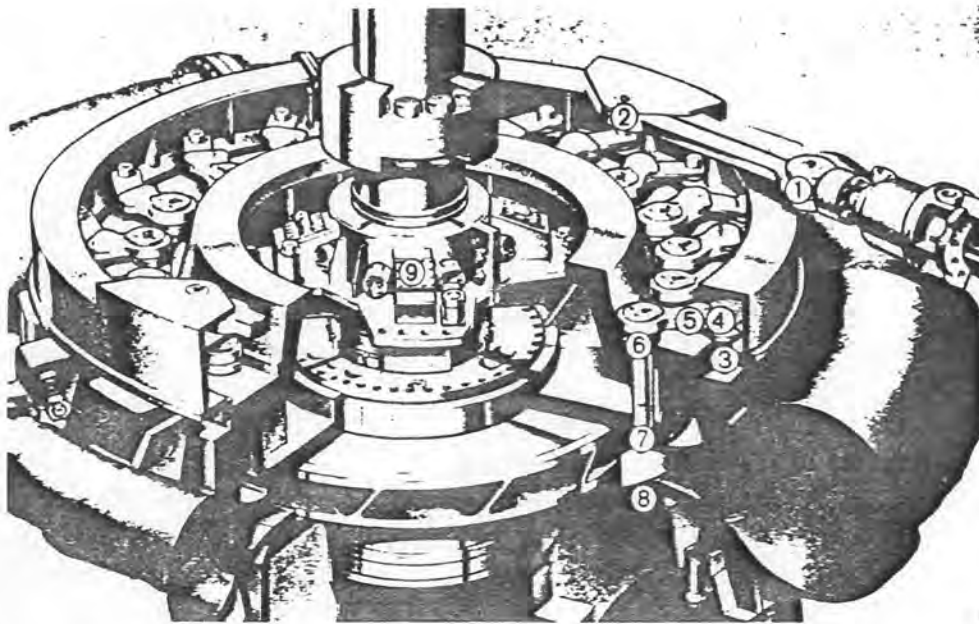


Bild 3: Einsatzbeispiele – Anwendungen bei Wasserturbinen  
Der Einsatz erfolgt in Francis-, Kaplan- und Pelton-turbinen, sowie den unterschiedlichsten Konstruktionsformen, wie Spiral-, Rohr-, Straflo-, Bulb- und Pump-turbinen.

- |                                                                     |                                                              |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1 Lagerung des Servomotors zum Antrieb des Regelringes              | 7 Lagerung der Leitschaufeln „Mitte“                         |
| 2 Anschluß des Servomotors am Regelring                             | 8 Lagerung der Leitschaufeln „unten“                         |
| 3 Lagerung des Regelringes (axial und radial mittels Gleitsegmente) | 9 Unteres Hauptlager (wassergeschmiert)                      |
| 4 Anschluß der Lenkerhebel am Regelring                             | Ohne Darstellung in Kaplan-turbinen                          |
| 5 Lagerung der Lenkerhebel                                          | Lagerung der Laufradschaufeln und deren Verstell-einrichtung |
| 6 Lagerung der Leitschaufeln „oben“                                 | Ohne Darstellung in Pelton-turbine                           |
|                                                                     | Lagerung der Düsen-nadeln und Ablenker                       |

Bei der Festlegung des geeigneten Gegenwerkstoffes und der Gesamtausbildung sind die Besonderheiten aus der Funktion der einzelnen Teile und ihrem Zusammenwirken im System zu beachten.

- Die Härte des Gegenwerkstoffes.
- Die Korrosionsanforderungen an den Gegenwerkstoff aus der Umwelt oder dem Arbeitsmedium.
- Die Einwirkung des Arbeitsgutes (Abrasive-wirkung) auf den Gegenwerkstoff.

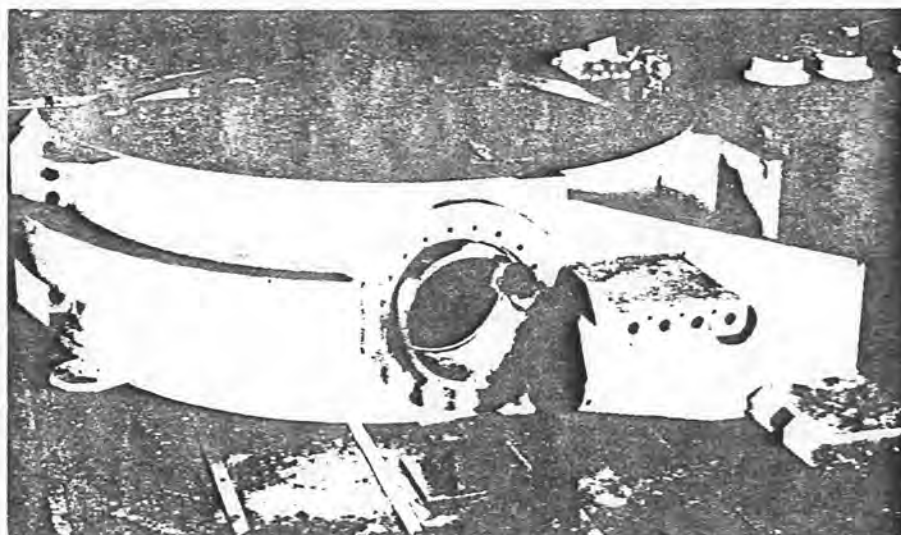


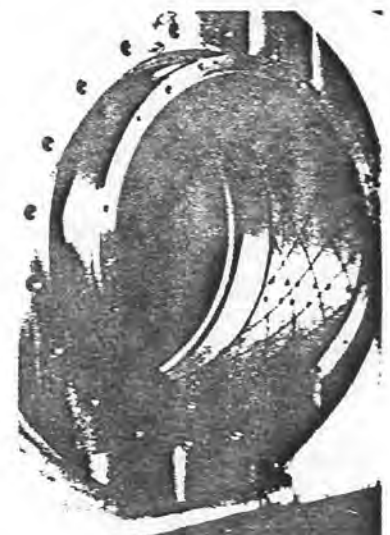
Bild 4: Einsatzbeispiele bei Absperrklappen  
Lagerung des Klappentellers von Absperrklappen NW 4000 für Druckstolleneinlauf des Wasserkraftwerkes „Guavo“, Kolumbien

- Die Oberflächen-Rauigkeit des Gegenwerkstoffes.
- Die konstruktive Ausbildung des Gegenwerkstoffes im Bereich des Gleit-Systems.

Fast alle Turbinen-Leitschaufellager (Bild 6) arbeiten heute im Bereich von verunreinigtem Wasser. Auch haben wartungsfreie Gleitlager einen gewissen Mikroabrieb. Dieser und eingedrungener Schmutz müssen sich möglichst automatisch aus dem Lager herausarbeiten können. Ist dies durch die Lagerkonstruktion oder verwendete Werkstoffe nicht möglich, treten nach längerer Laufzeit z.B. am Leitschaufelstiel oder an den anderen Gegenläufigen Beschädigungen auf, die zu dem absolut unerwünschten teuren Nacharbeiten dieser Gleitflächen bei der nächsten Revision zwingen. Als Gegenmaßnahme haben sich hierfür z.B. sogenannte Reinigungsritzen von DEVA-Bandmetall effektiv bewährt.

### 3 Wirkungsweise metallischer wartungsfreier selbstschmierender Gleitlager

Die wesentlichste Grundlage für die Wirkungsweise der im Verbund arbeitenden Werkstoffe ist das Vorhandensein einer metallischen Matrix und in dieser unter Vorspannung eingelagerter Festschmierstoffe. Auf der einen Seite bietet die metallische Matrix günstige Festigkeitseigenschaften, andererseits kann der unter Vorspannung eingelagerte Festschmierstoff



- ① Regelring (axial und radial)
- ② Lenkerhebel
- ③ Leitschaufel (axial)
- ④ Leitschaufel oben
- ⑤ Leitschaufel mitte
- ⑥ Leitschaufel unten

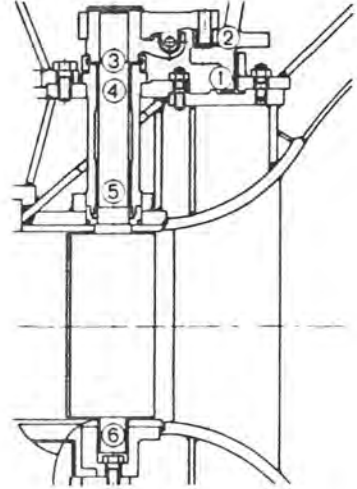
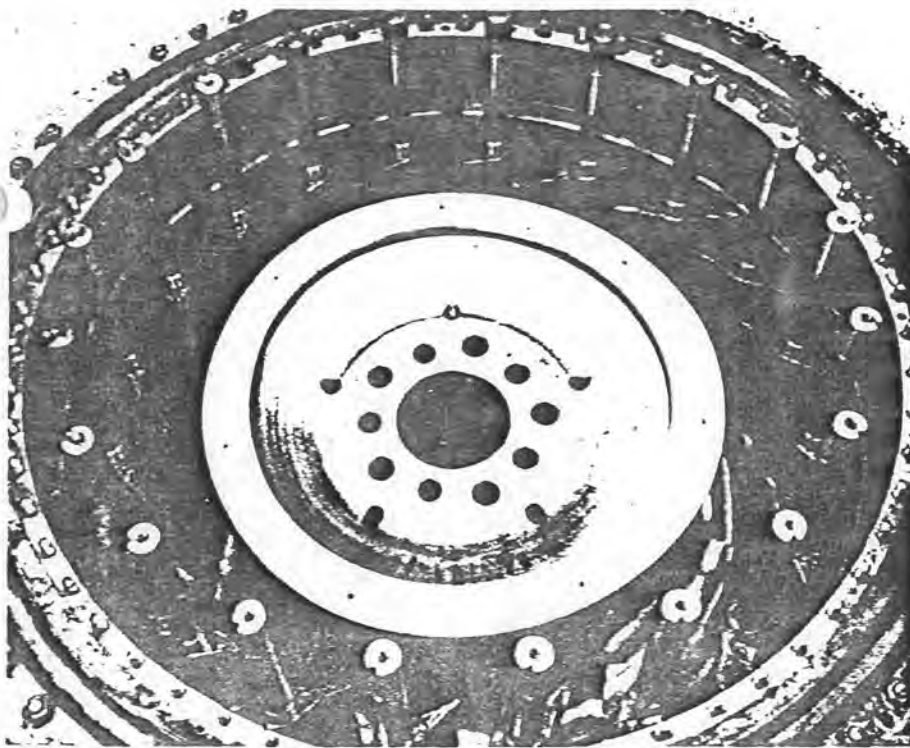


Bild 5: Francis-Spiralturbine nachträglich komplett mit DEVA-Gleitteilen wartungsfrei ausgerüstet

beim Verschleißvorgang mit geringem Widerstand freigegeben werden. Dadurch wird durch Mikroabrieb Festschmierstoff frei und die Selbstschmierung der Gleitteile sichergestellt (Bild 7).

Bei metallischen wartungsfreien, selbstschmierenden Gleitlagern übernimmt der Festschmierstoff die Aufgabe, durch die Bewegung einen geschlossenen Schmierfilm, der die Gleitpartner voneinander trennt, zu bilden. Bereits bei den ersten Gleitbewegungen füllt er, unterstützt durch das Überangebot an Festschmierstoff des speziellen Einlauffilmes, die Mikrorauheiten der Gleitpartner, glättet diese und bildet unter Ausnutzung der Flächenpressung, sowohl auf dem Gleitwerkstoff

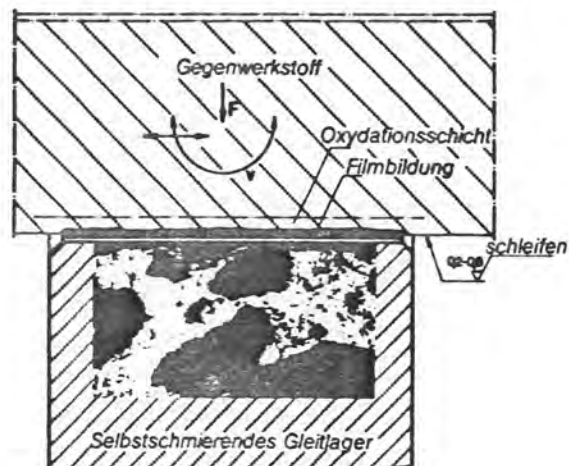


Bild 7: Darstellung des Gleitvorgangs mit Feststoffschmierung

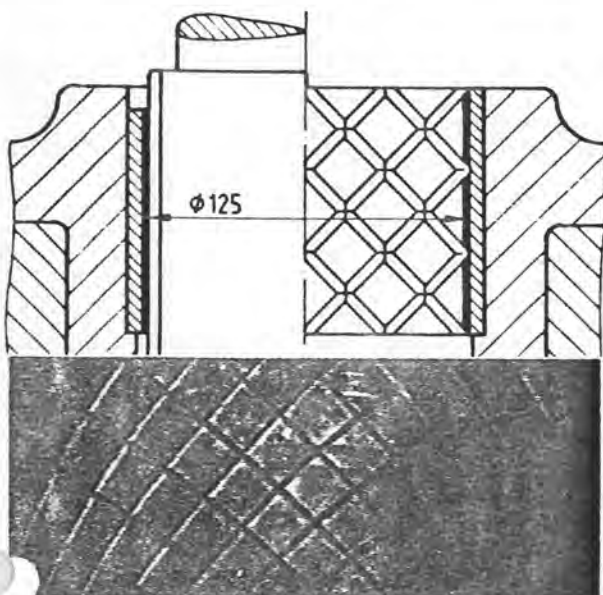


Bild 6: Leitschaufellager mit Reinigungsnuten

als auch durch Übertragung auf den Gegenwerkstoff spiegelblank, festhaftende Schmierfilme.

Bei Gleitwerkstoffen aus PTFE ist der Reibungsbeiwert etwas günstiger als dieser von Gleitlagern mit metallischer Matrix. Der Reibungskoeffizient ist jedoch nur ein Kriterium und ist allein nicht ausreichend für die Beurteilung des Lagerwerkstoffes und seine Leistungsfähigkeit.

Ganz entscheidend und von wesentlich größerem Einfluß sind in Wasserturbinen, Faktoren wie:

- Belastbarkeit,
- Schmutzunempfindlichkeit,
- Verschleißschichtdicke,
- Notlaufeigenschaften,
- Nachbearbeitungsmöglichkeit,
- Korrosionsbeständigkeit,
- Temperaturunempfindlichkeit.



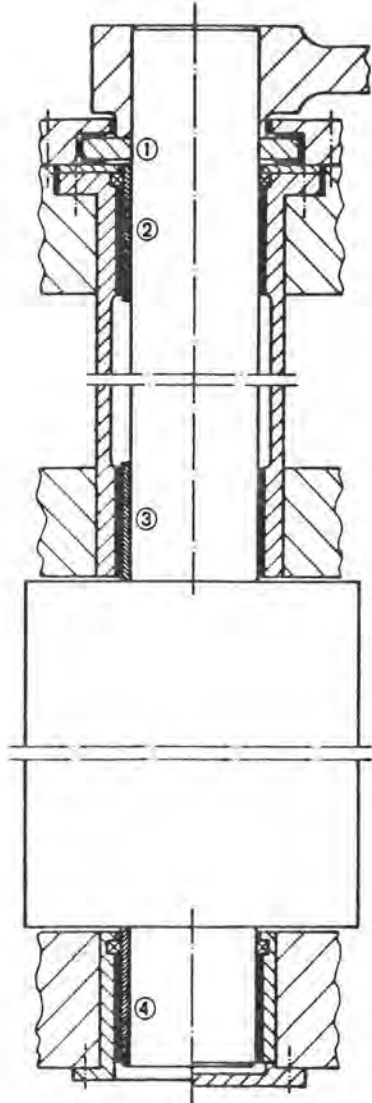


Bild 8: Leitschaufellagerung  
 ① Leitschaufel (axial)  
 ② Leitschaufel oben  
 ③ Leitschaufel mitte  
 ④ Leitschaufel unten

Die Summen aller Kriterien sind bei der richtigen Gleitlager-Auswahl zu beachten, um vorzeitigen Ausfall und Langzeitschäden vorzubeugen. Als wichtigste Kriterien zeigten sich in der Praxis Belastbarkeit, Schmutzunempfindlichkeit und eine ausreichende Verschleißschicht. Nur dann sind die im Turbinenbau fast unvermeidbaren Kantenpressungen wirkungslos und die Bedingung erfüllt, daß auf jeden Fall, auch bei langzeitigem Dauerbetrieb genügend Gleitwerkstoff zur Verfügung steht, ohne wichtige Maschinenelemente zu gefährden. Wie verschieden diesbezüglich die am häufigsten verwendeten Werkstoffe gestaltet sind, zeigen die folgenden Angaben:

#### Werkstoffbezeichnung

|            |                                |
|------------|--------------------------------|
| DEVA-BM    | Gleiterschichtdicke > 1,00 mm  |
| DU         | Gleiterschichtdicke ~ 0,30 mm  |
| FIBERGLIDE | Gleiterschichtdicke ~ 0,60 mm. |

#### 4 Lebensdauer

Verantwortungsbewußt kann aufgrund bisheriger Erfahrungen gesagt werden, daß die hochqualifizierten Marktprodukte einen im Wasserturbinenbau üblichen Revisionszyklus von ca. 25 Jahren unter normalen Bedingungen durchaus standhalten. Damit sind heute die selbstschmierenden Gleitlager kein bestimmendes Kriterium mehr für eine vorzeitige Turbinenüberholung. Die notwendige Sicherheit und die dauerhafte wartungsfreie Funktion ist absolut gewährleistet.

Die Allianz-Versicherung kam nach Untersuchung von Schadensfällen an vielen Gleitlagern in Wasserturbinen zu dem folgenden Ergebnis:

„Wichtig ist zu wissen, daß solche Lager Verschleißteile sind und deshalb in bestimmten Zeitabständen gewechselt werden müssen. Man rechnet im Durchschnitt zwei Betriebsjahre über 10 000 Betriebsstunden Lebensdauer für Tefloneinlagen und max. 25 000 Betriebsstunden für selbstschmierend Bronzebuchsen.“

Die angegebenen Betriebszeiten müssen unter dem Gesichtspunkt gesehen werden, daß dieser Bericht von einer Versicherung veröffentlicht wurde, der es darum geht, Schäden, für die sie haftbar wäre, von vornherein zu verhüten, und deshalb eine besonders kurze Lebensdauer genannt wurde. Interessant ist aber, daß selbst von der Allianz-Versicherung in diesem Zusammenhang für Gleitlager auf Bronzebasis (z.B. DEVA eine 2,5fach längere Lebensdauer als für Gleitlager mit Tefloneinlagen festgestellt wurde. Dies deckt sich mit der seit mehr als 15jährigen Erfahrung. Wichtig ist dabei noch zu erwähnen, daß bei Lagern mit metallischer Struktur ein plötzliche Totalzerstörung, d.h. also ein Katastrophenfall kaum vorkommen kann, weil immer eine ausreichend dicke selbstschmierende Gleitschicht vorhanden ist, die bei extremer Kantenpressung oder dem Auftreten von besonderen Betriebsbedingungen eine plötzliche Gleitlagerzerstörung praktisch unmöglich macht.

#### 5 Bandmetall-Gleitlager

Mit der Entwicklung der sogenannten BM-Gleitlager erreichte man neben einer Kostensenkung auch einen verbesserten einfacheren Gleitlagereinbau. Bei richtiger Passungswahl und entsprechender Herstellung der Aufnahmebohrung ist mit BM-Gleitlagern ein fester Sitz axial und radial gewährleistet. Wichtig ist dabei auch auf Korrosionsbeständigkeit des Trägermaterials zu achten, um eventuelle Hinterrostungen zu vermeiden.

Verschiedene wartungsfreie, selbstschmierende BM-Gleitlager und deren markante Eigenschaften lassen sich wie folgt klassifizieren:

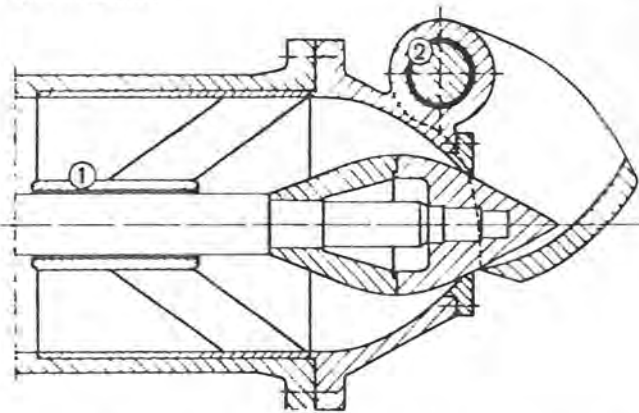


Bild 9: Lagerung der Düsennadeln (1) und Ablenker (2) in Pelton-turbinen

#### 6 Belastungen

Obwohl die meisten selbstschmierenden Gleitlager theoretisch recht hohe spezifische Pressungen (ca. bis 300 N/mm statisch) zulassen, ist als brauchbares Konstruktionsprinzip dieser Wert auf

Gegenüberstellung verschiedener wartungsfreier, selbstschmierender BM-Gleitlager und deren markante Eigenschaften.

| Gleitlager mit Metall/Graphit-Gleitschicht                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Gleitlager mit PTFE-Gleitschicht                                                                                                                                                                                                                   | Gleitlager mit Kunststoff-Gewebe-Gleitschicht                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– wartungsfrei, selbstschmierend</li> <li>– hohe Belastbarkeit</li> <li>– Schmutzunempfindlich</li> <li>– selbstreinigend durch Reinigungsnoten</li> <li>– gute Notlaufeigenschaften</li> <li>– nachbearbeitbar infolge dicker Gleitschicht</li> <li>– korrosionsbeständig</li> <li>– unempfindlich gegen Kantenpressung</li> <li>– temperaturunempfindlich</li> <li>– keine Beschädigung der Gegenlaufläche</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– wartungsfrei, selbstschmierend</li> <li>– gute Gleiteigenschaften durch niedrigen Reibungskoeffizienten</li> <li>– hohe Belastbarkeit</li> <li>– kostengünstig durch hohe Stückzahlherstellung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– wartungsfrei, selbstschmierend</li> <li>– gute Gleiteigenschaften durch niedrigen Reibungskoeffizienten</li> <li>– hohe Belastbarkeit</li> <li>– korrosionsbeständig</li> <li>– unempfindlich gegen Kantenpressungen</li> <li>– hat sich auch bei Pumpenturbinen gut bewährt</li> </ul> |

$P_{\text{spez.}} = 15 \text{ N/mm}^2 \text{ bis } 20 \text{ N/mm}^2$

zu begrenzen. Dieser relativ niedere Wert berücksichtigt damit die besonders in Turbinen gewünschte lange Lebensdauer durch Beachtung von Belastungen und Reibweg hinsichtlich Verschleiß sowie Belastungsunsicherheiten, dynamische Faktoren und trägt dem konstruktiven und elementbedingten Sicherheitsbedürfnis Rechnung.

Bei eindeutiger Kenntnis der Belastung und Bewegungshäufigkeit (Reibbeweg) kann dieser Wert bedenkenlos auf ca. 80 bis 100  $\text{N/mm}^2$  erhöht werden.

## 7 Weitere Einsatzbeispiele

Einige weitere Einsatzbeispiele sind in den Bildern 8 bis 11 erläutert. Sie zeigen eine Leitschauellagerung, die Lagerung des Regelrings, der Düsenadeln in Pelton-Turbinen sowie eines Kugelschiebers.

## 8 Kosten

Bedingt durch Herstellungsprozeß und Materialbestandteile sind die Kosten eines selbstschmierenden Lagers höher als die eines konventionellen, fettgeschmierten Lagers aus Bronze. Vergleicht man die gesamten aufzuwendenden Kosten beider Varianten, so zeigen viele Analysen eindeutig, daß eine Konstruktion mit wartungsfreien, selbstschmierenden Gleitlagern nicht teurer ist.

Durch den Wegfall der Schmierbohrungen in vielen Maschinenteilen, Wegfall der Schmierleitungen, Armaturen, Schmierapparate und deren Montagekosten sowie der laufenden Wartungs- und Schmierstoffkosten können die höheren Kosten für die Lager selbst ohne weiteres kompensiert werden. Es ist deshalb auch nicht richtig, für solche wichtigen Maschinen-

elemente Billigprodukte einzusetzen, viel wichtiger sollten Faktoren wie Lebensdauer und Sicherheit gewertet werden. Im Wasserturbinenbau ist entscheidend, daß ein möglichst sicherer, störungs- und wartungsfreier Betrieb über einen langen Zeitraum bis zum nächsten Überholungszyklus garantiert ist, und daß man sicher weiß, daß solche Gleitlager, die nicht zugänglich sind, auch nicht für Zwischenkontrollen, über den geforderten Zeitraum problemlos arbeiten.

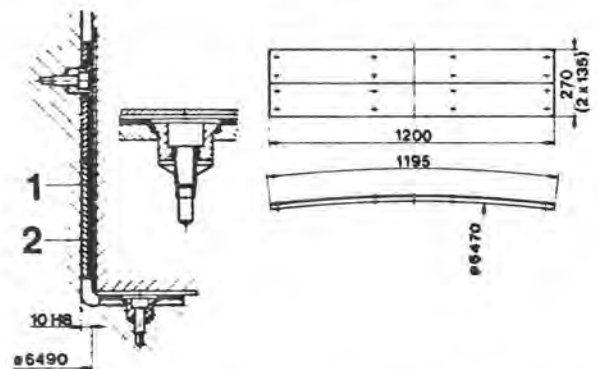
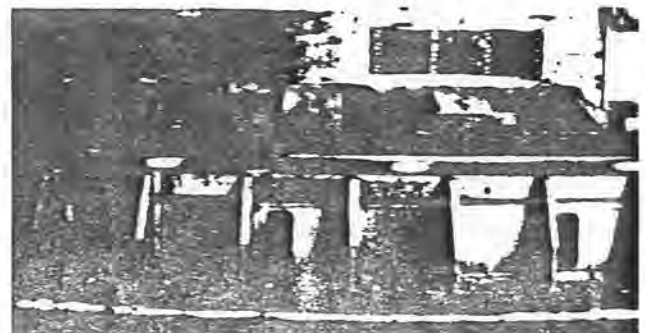


Bild 10: Lagerung des Regelringes der Francis-Spiralturbine Itaipu Brasilien

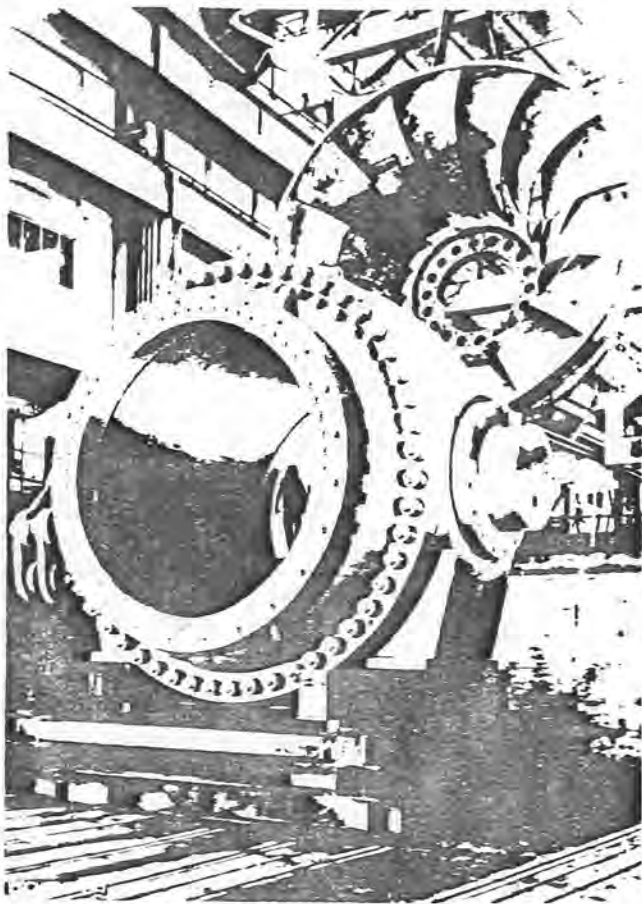


Bild 11: Kugelschieber für Pumpspeicher Kraftwerk Raccoon Mountain, USA

## 9 Pumpturbinen

Über Pumpturbinen liegen bis jetzt ca. 10jährige Erfahrungen mit selbstschmierenden Lagern vor. Zunächst ist herauszustellen, daß jede Pumpturbine erhöhten Beanspruchungen infolge der besonderen Betriebsbedingungen ausgesetzt ist, denen durch eine komplexe und hohe Technologie zu begegnen versucht wird.

Extreme Betriebszustände/Betriebsübergänge beanspruchen besonders die Leitschaufeln mit ihren Gleitlagern äußerst hart. Dazu kommt, daß die auftretenden Maximalbeanspruchungen, dynamische Kräfte und Schwingungsfrequenzen und Amplituden in transienten Zuständen kaum exakt vorausbestimmbar sind. Aus Gründen der Schwingungs-Dämpfung sind kleinste Lagerspiegel wichtig. Die Durchbiegung der Leitschaufeln selbst erfordert jedoch ein größeres Lagerspiel, um der gefürchteten Kantenpressung Rechnung zu tragen. Hier kann nur zwischen Turbinen- und Gleitlagerhersteller in intensiven Gesprächen eine optimierte Kompromißlösung angestrebt werden.

Falls bei Pumpturbinen selbstschmierende Lager spezifiziert werden – und Wartungsfreiheit gerade bei Pumpenturbinen wäre besonders wichtig –, muß die Konstruktion ein einfaches Auswechseln der Gleitlager ermöglichen, da die Standzeiten der Leitschaufellager immer noch recht begrenzt sind. Falls einmal Standzeiten von ca. 8 bis 10 Jahren bei Intensiv-Einsatz erreicht würden, wäre ein gewisser Durchbruch erzielt. Mit den heutigen erprobten Gleitlagern kann man mit ca. 4 bis 5 Jahren rechnen. Allerdings werden die Pumpturbi-

nen häufig nicht im Dauerbetrieb eingesetzt, weshalb die Standzeiten zum Teil höher liegen.

Die Entwicklung der selbstschmierenden Gleitlager eben für solche Extrem-Anwendungsfälle wurde vom Hersteller metallischer Werkstoffe stark forciert, um künftig die geforderten Standzeiten von ca. 10 Jahren zu erzielen. Außerdem sind auch im hydraulischen Entwicklungsbereich Verbesserungen durch ruhigeren Lauf und weniger Schwingungen inzwischen erzielt worden.

## 10 Turbinenführungslager

Bisher setzte sich die Möglichkeit des Einbaues von wassergeschmierten Gleitlagern nicht breit durch, obwohl bei einer großen Anzahl von vertikalen Turbinen hiermit seit langem gute Erfahrungen vorliegen. Dies erstaunt um so mehr, da viele tausend Turbinen existieren, die derzeit mit Öl oder Fett geschmiert werden und ein Umbau auf öl- bzw. fettfreie Gleitlager möglich und im Interesse des Umweltschutzes wünschenswert wäre. Zwei Gründe scheinen dafür besonders verantwortlich zu sein, daß die gegebenen technischen Möglichkeiten für diese Anwendung bisher nicht genutzt wurde:

- Die gesammelten Erfahrungen sind nicht ausreichend publiziert. Betreiber und Hersteller scheuen sich vor jeglichem Experimentieren und können sich von einem geringen Restrisiko nicht befreien.
- Die Betreiber kapitulieren immer wieder vor dem Problem der Bereitstellung von gefiltertem Kühl-/Schmierwasser. Obwohl eine derartige Einrichtung selbst einfach ist, neigt diese wegen der möglichen Filterverstopfungen zu Betriebsstörungen und zwingt zur Wartung, was man ja gerade vermeiden möchte.

Trotzdem sollten diese Ausführungen dazu ermuntern, auch bei bisher öl- oder fettgeschmierten Turbinenführungslagern auf wassergeschmierte Gleitlager überzugehen (Bild 12).

Folgende Empfehlungen können gegeben werden:

- Der Einbau eines wassergeschmierten Turbinenwellen-Führungslagers sollte zusammen mit dem Gleitlagerhersteller abgeklärt werden.
- Es muß eine Berechnung des Gleitlagers durch Berücksichtigung der wichtigsten Betriebsbedingungen erfolgen, wobei Durchmesser, Drehzahl, Belastung, die Temperatur des Kühlmediums (Viskosität) zu beachten sind.
- Grundsätzlich, besonders aber beim Arbeiten in verschmutztem Wasser, sind Labyrinth über und unter dem Gleitlager zu empfehlen. Diese bewirken zusätzlich eine bessere Abdichtung des Gleitlagers und verhindern dadurch das Eindringen von Verunreinigungen sowie das schnelle Abfließen des Kühlwassers, wodurch der Aufbau des hydrodynamischen Schmierfilmes unterstützt wird.
- Das Kühlwasser ist mit einem Druck direkt in den Schmierpalt des Gleitlagers einzuführen, der höher ist als der umgebende Betriebsdruck.
- Die Lager-Elemente sind sorgfältig im Gleitlager selbst zu befestigen, besonders wenn es sich um ein zweiteiliges Gleitlager handelt.
- Die Welle sollte unbedingt eine Schonbüchse aus nichtrostendem Stahl (z.B. 1.4122 vergütet) mind. HB 220 und einer Oberflächen-Rauigkeit von 0,2 bis 0,8 µm Ra tragen.



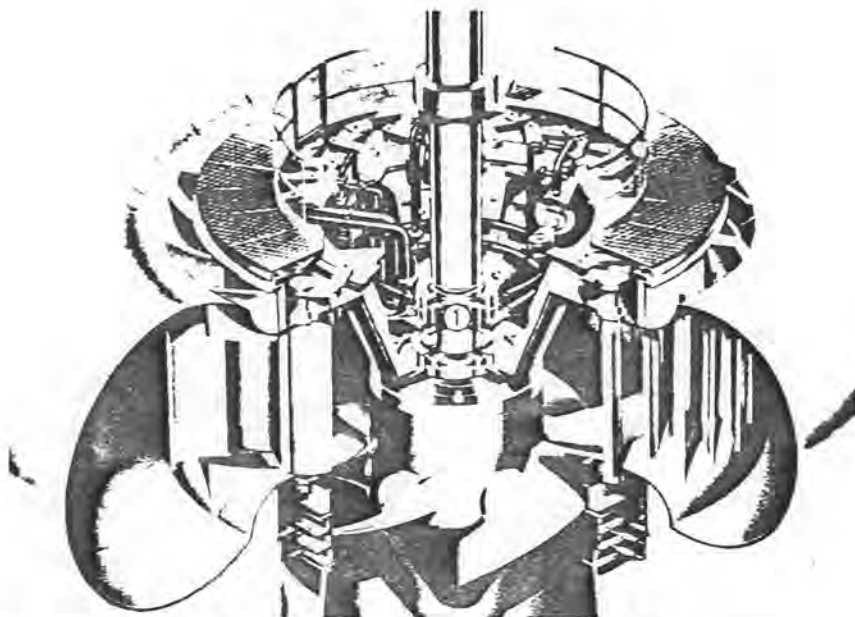
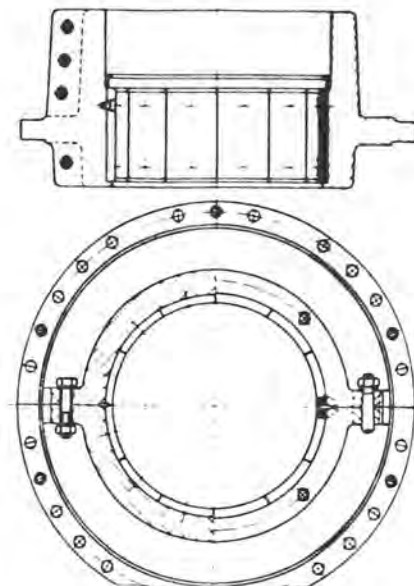


Bild 12: Umbau der unteren radialen Führungs-Gleitlager (Hauptlager von Fett- auf Wasserschmierung)  
Kaplan-Turbine, Wellen  $\varnothing 450$  mm mit wassergeschmierten unteren Führungslagern



① DEVA-Metall Gleitlager

Ein interessantes Einsatzgebiet für wartungsfreie, selbstschmierende Gleitlager bieten Revisionen, Umbauten oder auch neue Laufradnaben von Kaplan-turbinen, bei denen der Servomotor nicht in der Nabe selbst untergebracht ist. Durch die oft weit austragenden Flügelblätter entstehen an den relativ kurzen Zapfenlagern hohe einseitige Belastungen mit unvermeidbaren Kantenpressungen. Dadurch wird die Flügel-dichtung im unteren Bereich radial zusammengedrückt, während im oberen Bereich nach längerer Laufzeit unter Umständen Leckage auftritt. Da diese Laufradnaben mit Öl gefüllt sind, ist das Austreten von Öl die zwangsläufige Folge und bringt bezüglich Wasserverschmutzung/Umwelt Probleme mit sich.

In den obigen Anlagen wurden daher, um den Forderungen des Umweltschutzes gerecht zu werden, im Zuge einer Revision die bisher ölgeschmierten Gleitlager aus Bronze durch selbstschmierende DEVA-BM-Gleitlager ersetzt. Die ölgefüllt betriebene Laufradnabe, wurde wegen dem unvermeidlichen Ölverlust nach jahrelangem Betrieb und der vorgeschriebenen ständigen äußerst zeitaufwendigen und umständlichen teuren Kontrolle, mit vollentsalztem Wasser gefüllt, dem zum Schutz vor Korrosion ein Inhibitor hinzugefügt wurde. Der alte ölbeständige Anstrich im Nabeninneren wurde durch Sandstrahlen entfernt und eine dreifache Beschichtung mit epoxidharzgebundenem Steinkohlenteerpech aufgebracht.

Die komplette Laufradnabe, einschließlich der Gleitlager ist nun völlig wartungsfrei. Eine ständige Kontrolle und das Ergänzen des fehlenden Öles entfällt. Bedenkt man, daß dies bei der ursprünglichen Konstruktion nur nach Trockenlegen der Turbinenkammer möglich war und das Setzen der Ober- und Unterwassertafeln Taucher und Kran erforderte, kann abgeschätzt werden, daß die Konstruktionsänderung nicht nur den Forderungen des Umweltschutzes gerecht wurde, sondern darüber hinaus auch erhebliche wirtschaftliche Vorteile mit sich brachte, weshalb inzwischen mehrere weitere Kaplan-Laufradnaben erfolgreich umgebaut wurden.

## 11 Allgemeines

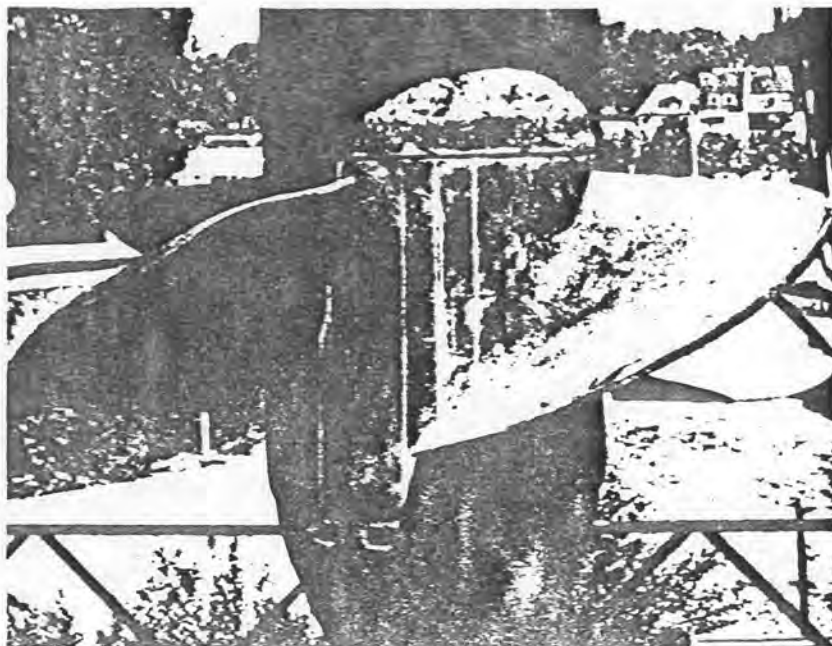
Um Passungs- und Einbaufehler zu vermeiden und den jeweils optimalen Einsatz sicherzustellen, sollten für alle Gleitlager Empfehlungen/Vorschläge von dem Hersteller eingeholt werden. Dieser ist bemüht, einen entsprechenden Service für Consulting-Unternehmen, Turbinenhersteller und Betreiber anzubieten und eine intensive Kundenbetreuung, Erfahrungstransfer zu gewähren. Entscheidungen über die Verwendung von wartungsfreien, selbstschmierenden Gleitlagern fallen meistens im frühen Projektstudium während der Erarbeitung der Spezifikation. Darauf sollten die späteren Betreiber unbedingt Einfluß nehmen. So bleibt die Empfehlung an alle Beteiligten

- mit den Konstrukteuren sprechen,
- mit den Projektverantwortlichen Kontakt halten,
- das Gespräch mit dem Gleitlagerhersteller suchen,
- Entscheidungen gemeinsam treffen, damit Optimierung sichergestellt ist.

Weil der Druck auf die Konstrukteure in bezug auf Zeit und Kosten heute so enorm ist, sind klare und einfache Informations-Dokumente wichtig. Aber auch Informationen über Aufbau, Herstellung und Wirkungsweise der wartungsfreien, selbstschmierenden Gleitlager sind nötig. Darüber hinaus sind Kenntnisse und Informationen über die Einflußfaktoren und deren Berücksichtigung bei der richtigen Werkstoffauswahl von Bedeutung. Hierzu zählen Flächenpressung, Gleitgeschwindigkeit, Reibbeiwert, Bewegungshäufigkeit, Temperatur, Abfluß der Reibungswärme, Bewegungsablauf, Korrosion, Verunreinigungen, Schlag- und Stoßbeanspruchung, Strahlung usw.

## 11 Schlußbemerkungen

Immer intensiver werden die Forderungen nach fett- und öl-freien Gleitlagern im Wasserturbinen- und Stahlwasserbau. Es ist fraglich, ob in der weiteren Zukunft überhaupt noch



RWE Wasserkraftwerkgruppe  
Herdecke

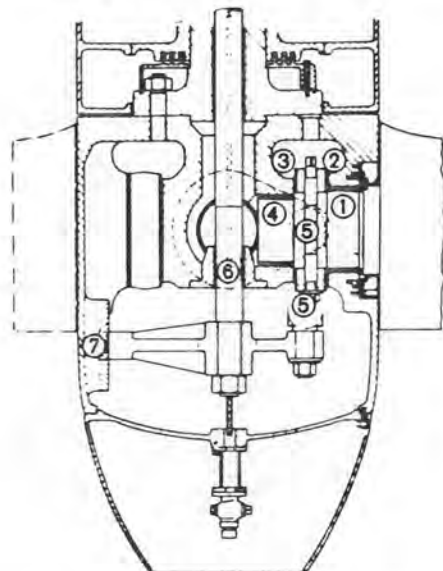


Bild 13: Umbau der Lagerung der Laufradnabe von Kaplan-turbinen mit senkrechter Welle. Wasserkraftwerk Stiftsmühle und Hengstey REW/Deutschland

Turbinen mit geschmierten Gleitlagern gebaut und akzeptiert werden.

Da fast alle Betreiber das Bedürfnis haben, eine Leistungserhöhung ihrer Maschinen durch Modernisierung zu erreichen, sind Revisionen älterer Turbinen von großer Bedeutung. Hierbei sollte auf den Umbau der entsprechenden Gleitlager keinesfalls verzichtet werden. Vorteile sind:

- Keine Umweltverschmutzung durch Öl oder Fett,
- wartungsfreie Turbinen,

- Sauberkeit der Innenanlagen,
- Vereinfachung/Automatisierung der Anlagen,
- Verlängerung der Inspektions- bzw. Revisionsintervalle,
- Reduzierung von Risiken und Störanfälligkeit.

Alle diese Gesichtspunkte treffen ganz wesentlich auf die hier behandelten wartungsfreien, selbstschmierenden Gleitlager zu.

Anschrift des Verfassers: Karl Kohler, Ernst-Abbe-Str. 20, 7920 Heidenheim

## Diskussionsbemerkung zum Beitrag Idel/Wittke: „Sanierungsmaßnahmen an der 86 Jahre alten Fürwigge-Talsperre durch den Ruhrtalsperrenverein“

WASSERWIRTSCHAFT 81 (1991) Heft 7/8,  
Seite 334 bis 337

Dem damaligen RTV (heute RV) ist vor Jahren von der Talsperrenaufsicht aufgegeben worden, die Standsicherheit der Fürwiggetalsperre nachzuweisen. Durch die von der Talsperrenaufsicht getrennt beauftragten Gutachter, sowie durch Einschaltung des GLA in Krefeld kommt die Talsperrenaufsicht zu dem Ergebnis, daß die Standsicherheit der Fürwiggetalsperre im derzeitigen Zustand nach den a.a.R.d.T. nicht gegeben ist. Dem RV wurde 1990 aufgegeben, einen Sanierungsvorschlag nach den Grundsätzen des Erlasses des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW vom Juli 1988 für die Sanierung alter Gewichtsstaumauern aus Bruchsteinen unter Beachtung der darin genannten Kriterien

vorzulegen. Die Autoren erwecken unter Übergehen dieser Tatsache den Eindruck, daß der RV die Fürwiggetalsperre auf diese Weise zu sanieren beabsichtigt.

Dem ist bisher nicht so, sondern von der Talsperrenaufsicht wurde mit o.g. Entscheidung und wird hiermit nochmals deutlich gemacht, daß nur die Standsicherheitsuntersuchung einschließlich der Gutachten, aber kein Sanierungsvorschlag vorliegt, dem die Talsperrenaufsicht gegenüber dem RV zugestimmt hat.

Der Regierungspräsident Arnsberg

gez. Leberke