

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 24 (1933)
Heft: 8

Artikel: Betriebserfahrungen mit Gleitpurlagern : Referat über die Erfahrungen beim Kraftwerk Wäggital
Autor: Kraft, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057233>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

BULLETIN

RÉDACTION:
Secrétariat général de l'Association Suisse des Electriciens
et de l'Union de Centrales Suisses d'électricité, Zurich 8

EDITEUR ET ADMINISTRATION:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei S. A., Zurich 4
Stauffacherquai 36/38

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XXIV^e Année

N^o 8

Vendredi, 14 avril 1933

Betriebserfahrungen mit Gleitspurlagern.

(Aus der Betriebsleiterkonferenz des VSE vom 16. Dezember 1932 in Olten.)

Referat über die Erfahrungen beim Kraftwerk Wäggitäl.

Von A. Kraft, Siebnen.

621.82

Im folgenden ist mit einigen unbedeutenden Kürzungen das an der Betriebsleiterkonferenz des VSE am 16. Dezember 1932 in Olten gehaltene Referat über die Betriebserfahrungen mit Gleitspurlagern beim Kraftwerk Wäggitäl wiedergegeben. — Es wird kurz auf das Prinzip dieser Lager und auf die zwei Ausführungsformen, die eine mit Tragring aus einem Stück, die andere mit Tragring aus beweglichen Segmenten, eingegangen; dann werden Montage-, Ueberwachungs- und Behandlungsfragen, worunter besonders auch die Frage des zu wählenden Oeles, erörtert, und zum Schluss kommen die Betriebserfahrungen und verschiedene Versuche zur Verbesserung der Lager zur Sprache. Für die Betriebsverhältnisse beim Kraftwerk Wäggitäl können beide Spurlagertypen als gleichwertig angesehen werden.

In der abschliessend teilweise wiedergegebenen Diskussion werden in anderen Kraftwerken gesammelte Erfahrungen mit Spurlagern mitgeteilt.

Nous reproduisons ici, sous une forme quelque peu abrégée, la conférence donnée à Olten le 16 décembre 1932, à la réunion des chefs d'exploitation de l'UCS, sur les expériences acquises au Wäggitäl avec les paliers à buttée.

L'auteur expose brièvement le principe de ces paliers et en décrit les deux formes principales d'exécution, celle à buttée en une pièce et celle avec buttée à segments. Suivent les questions de montage, de surveillance et d'entretien, en particulier la question de l'huile de graissage, puis les expériences faites en exploitation et finalement quelques tentatives d'amélioration des paliers. Dans les conditions régnant aux usines du Wäggitäl, les deux types de paliers peuvent être considérés comme équivalents.

L'article est suivi d'un compte-rendu de la discussion, au cours de laquelle des représentants d'autres centrales firent part des expériences acquises dans leurs usines.



Fig. 1.
Maschinensaal Siebnen.
(Aus Bull. SEV 1932, Nr. 2.)

Einleitung.

Im Kraftwerk Wäggitäl stehen 12 Spurlager im Betrieb, wovon vier an Turbinen-Generator-Gruppen im Werk Siebnen (Fig. 1), vier an Turbinen-Generator-Gruppen im Werk Rempen und vier an Motor-Pumpen-Gruppen ebenfalls im Werk Rempen (Fig. 2). Wie die beiden Bilder zeigen, sind alle Spurlager auf den Statorgehäusen der Generatoren bzw. der Motoren aufgesetzt und haben über sich die Erregermaschinen liegen.

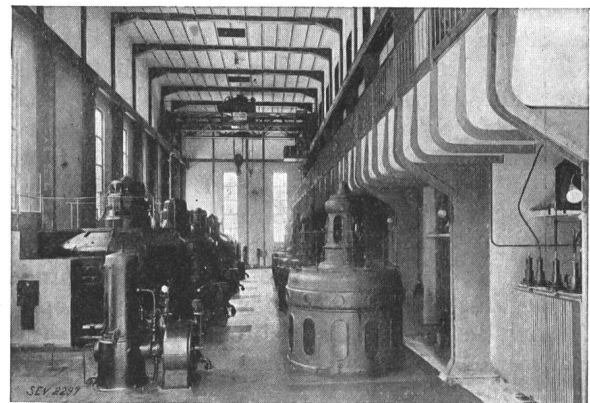


Fig. 2.
Maschinensaal Rempen;
links Generator-, rechts Pumpengruppe.
(Aus Bull. SEV 1932, Nr. 2.)

Die Lager für die Turbinen-Generatoren-Gruppen wurden von der A.-G. Escher Wyss & Co., Zürich (EWC) und der A.-G. Brown Boveri & Cie., Baden (BBC), diejenigen für die Motor-Pumpen-Gruppen von der A.-G. Bell & Co., Kriens, geliefert. Die Konstruktionsdaten der Lager sind in Tabelle I zusammengestellt.

Zusammenstellung der Konstruktionsdaten für die Spurlager Rempen und Siebren.

Tabelle I.

| | EWC | BBC ¹⁾ | Bell ²⁾ (Liz. BBC) |
|--|----------------------|-------------------------------|---|
| Belastung t | 60 | 70 | 20 |
| Drehzahl pro min | 500 | 500 | 750 |
| Lauftring Ø aussen mm | 950 | 930 | 486 |
| Lauftring Ø innen mm | 440 | 550 | 318 |
| Kreisringfläche cm ² | 5570 | 4400 | 1060 |
| Effektive Tragfläche cm ² | 2350 | 3800 | 740 |
| Spezif. Belastung ⁶⁾ kg/cm ² | 25,5 | 18,4 | 27 |
| Mittlere Umfanggeschwindigkeit m/s | 18,2 | 20,0 | 16,1 |
| Reibungskoeffizient | 0,0042 ³⁾ | 0,004 bis 0,005 ⁴⁾ | 0,004 bis 0,0022 ⁵⁾ |
| Reibungsleistung (gerechnet) kgm/s | 4580 | 5600 bis 7000 | 710 |
| Material | | | |
| Lauftring (oberer Spurring) | Feinguss | Stahl 330 | erst gehärteter SH-Stahl dann Perlitguss |
| Tragring (unterer Spurring) | Feinguss | — | — |
| Segmente (unterer Spurring) | — | Bronze 1 Lager Gussseisen | erst Bronze mit Weissmet. Aufguss dann Feinguss |
| Drehrichtungen | eine | eine | zwei (Rückwärtslauf) |

¹⁾ Für die Wäggitalmaschinen erstmals als Traglager für Wasserturbinengruppen angewendet, kam früher nur als Spurlager (Kamm Lager) zur Aufnahme des Axialschubes bei Dampfturbinen zur Anwendung.
²⁾ Speziell als Traglager für Wasserturbinengruppen angewendet.
³⁾ Auf Grund von Versuchen im Laboratorium und an ausgeführten Maschinen.
⁴⁾ Wurde bei Dampfturbinenkammlagern mit Öl von 3–4° Viskosität nach Engler und bei 55° C mittlerer Temperatur festgestellt.
⁵⁾ Diese Werte sind an einem Versuchslager ermittelt worden.
⁶⁾ Bezogen auf die effektive Tragfläche.

Beschreibung der Spurlager.

Alle Spurlager sind in einen Ölbehälter aus Gusseisen eingebaut. Bei den Generatoren sind die Ölbehälter durch Preßspanzwischenlagen gegen den Stator elektrisch isoliert. Bei den Motoren fehlt diese Isolation. Im Zentrum besitzt der Behälter ein vertikales Rohr (Standrohr), welches das Ölbad gegen die Welle abschliesst. Oben sind die Ölbehälter durch einen satt anliegenden Deckel abgeschlossen. Der den Deckel durchdringende rotierende Teil der Spurlager ist durch eine besondere Dichtung gut abgeschlossen, damit einerseits das Eindringen von Fremdkörpern verhindert und das Austreten von Öldämpfen nach Möglichkeit verhütet wird. Die Dichtung besteht aus zwei distanzierten Ringen aus dünnem Messingblech oder aus einem dichten Filz. Ein Zylinder, welcher den Mitnehmer und Lauftring umschliesst, sorgt dafür, dass das von den rotierenden Lagerteilen mitgerisene Öl nicht zu stark verspritzt wird. Zur laufen-

den Kontrolle des Ölstandes im Lager ist ein Ölstandsanzeiger (in Form einer Glasröhre oder eines Schwimmers) vorhanden. Dieser Indikator muss selbstverständlich so ausgeführt sein, dass die Ueberwachung des Ölspiegels auch bei rotierender Maschine möglich ist. Thermometer dienen zur Kontrolle der Öltemperatur. Die Anordnung der Thermometer ist bei den drei Lagertypen verschieden. Beim EWC-Lager ist das Thermometer in den Deckel des Ölbehälters gesteckt und reicht möglichst nahe an die Spur. Das BBC-Lager hat im Ölbehälterboden eine radial verlaufende Bohrung zum Einbau des Thermometers. Beim Bell-Lager ist das Thermometer in die Aussenwand des Ölbehälters eingesetzt.

Zur Ableitung der in den Lagern erzeugten Reibungswärme dienen von Wasser durchflossene Kühlschlangen, welche nach Fig. 3 in die Ölbehälter eingebaut sind. Die Kühlschlangen bestehen in konzentrisch angeordneten Windungen aus Kupferrohr mit einem leichten Durchmesser von 30 mm und einer Wandstärke von 1,5 mm bei den Genera-

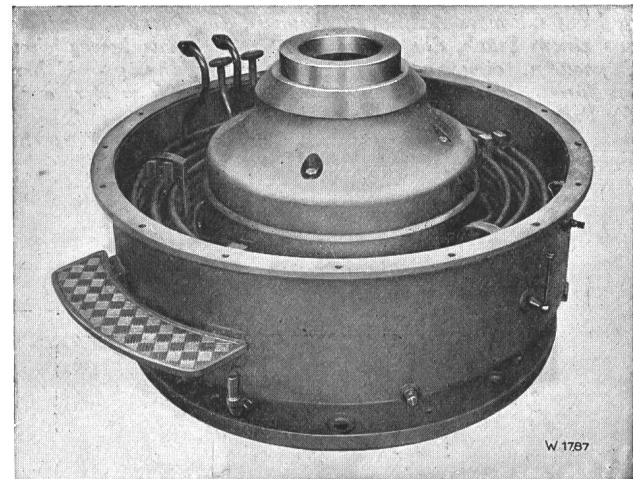


Fig. 3.
EWC-Spurlager, geöffnet, mit kompletter Spur.

torlagern und 28 mm I. D. sowie 1 mm Wandstärke bei den Motorlagern. Die Oberflächen der Kühlschlangen betragen 9,1 m² und 6,25 m² bei den Generatorlagern und 2,3 m² bei den Motorlagern. Die Kühlschlangen sind über einen Revolverfilter an die allgemeine Kühlwasserversorgung der Werke mit 5 bis 6 kg/cm² Betriebsdruck angeschlossen. Als Kühlwassermenge verlangen die Lieferanten 1,5 l/s für die Generatorlager und 1 l/s für die Motorlager. Zur Erreichung eines guten Wärmeaustausches ist die Fliessrichtung des Wassers in der Kühlschlange so gewählt, dass das Wasser das rotierende Öl im Gegenstrom durchfliesst. In den Wasserzuleitungen sind unmittelbar vor den Kühlschlangen Wasserunterbruchmelder (elektrische Fernmelder) eingebaut, welche das Personal alarmieren, sobald das Kühlwasser aus irgendeinem Grunde ausbleibt. Thermometer vor und nach der Kühlschlange gestatten laufende Kontrolle der Kühlwirkung.

Der wichtigste, aber auch empfindlichste Teil der Spurlager ist, wie schon die Bezeichnung der Lagerart andeutet, die in den Oelbehälter eingesetzte Spur. Während die Oelbehälter aller drei erwähnten Lagertypen im wesentlichen formgleich ausgebildet wurden, besteht zwischen der Escher Wyss-Spur und der BBC- bzw. der Bell-Spur ein grundsätzlicher Unterschied konstruktiver Natur.

Alle drei Spuren bestehen (Fig. 4) aus drei Teilen: einem feststehenden Trag- oder unteren Spurring, welcher auf einer bearbeiteten Fläche im Oelbassin aufliegt, dem rotierenden Lauf- oder oberen Spurring und dem Mitnehmerkopf, an welchem der obere Spurring befestigt ist. Der Mitnehmerkopf ist für alle drei Lagertypen analog ausgebildet und durch Paßsitz und Keil mit der Maschinenwelle starr verbunden. Die Uebertragung des Rotorgewichtes auf den Mitnehmerkopf erfolgt beim EWC- und BBC-Lager durch einen zweiteiligen

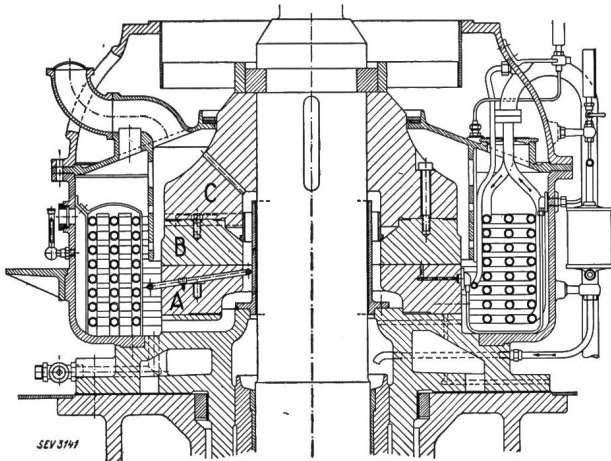


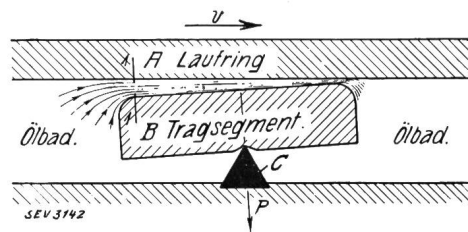
Fig. 4.

Schnitt durch ein EWC-Spurlager.
A Trag- oder unterer Spurring.
B Lauf- oder oberer Spurring.
C Mitnehmerkopf.

Ring, welcher in die Maschinenwelle eingelassen ist. Beim Lager von Bell erfüllt eine Gewindemutter und Gegengewinde auf der Welle diesen Zweck. Die radialen schiefstehenden Kanäle im Mitnehmerkopf der Generatorspurlager dienen zur Fortleitung der im Innern der Spur erzeugten Reibungswärme. Die Gestaltung der Spurringe wird nach Erläuterung der Wirkungsweise der Spurlager beschrieben.

Das Prinzip der Spurlager ist folgendes. Die Uebertragung der Kraft zwischen rotierendem und feststehendem Teil der Maschine und die gleitende Bewegung findet zwischen dem oberen und unteren Spurring statt. An dieser Stelle muss ein tragfähiger Oelfilm erzeugt und dauernd erhalten werden, um einen sicheren Betrieb des Lagers zu gewährleisten. Die Grundidee der Erzeugung dieses Films stammt von dem Engländer Osborne Reynolds, der schon im Jahre 1886 zeigte, dass es möglich ist, zwischen zwei aufeinander gleitenden Flächen ohne Zuführung von Drucköl einen ununterbrochenen,

trag- und schmierfähigen Oelfilm zu erzeugen und zu erhalten, und zwar, dank der Viskosität des Oeles, nur durch die relative Bewegung der Flächen. Die einzige Bedingung hierfür ist, dass die beiden Flächen schief zu einander stehen, und zwar gibt es eine ganz bestimmte Neigung, für welche die im Oel erzeugte Pressung ein Maximum wird. Das Prinzip ist in Fig. 5 dargestellt. Ein glatter Ring *A* läuft mit der Geschwindigkeit v in einem Oelbad um und reisst durch Adhäsionswirkung Oel mit sich. Unter dem rotierenden Ring ist das Tragsegment *B* angeordnet, welches sich durch geeignete Lagerung auf der festen Schneide *C* automatisch schief stellt. Durch diese Schiefstellung des Tragsegmentes wird das mit dem Laufring rotierende Oel gezwungen, in Richtung der Bewegung immer kleinere Querschnitte zu passieren. Es bildet sich ein Oelkeil, welcher zwischen die beiden Flächen von Laufring und Tragsegment hineingezogen wird. Die Geschwindigkeit nimmt mit der Verkleinerung der Querschnitte zu und diese Geschwindigkeitserhöhung erzeugt eine Aenderung der Oelpressung. Die Oelpressung erreicht innerhalb des Tragseg-

Fig. 5.
Prinzip des Spurlagers.

menten ein Maximum am Eintritt und Austritt und zu beiden Seiten des Segmentes ist sie gleich dem statischen Oelddruck an diesen Stellen. Die Prinzipskizze deutet schon auf die Spurlagerkonstruktion mit beweglichen Segmenten (BBC und Bell) hin. An Stelle des beweglichen Tragsegmentes kann auch eine feste, geneigte Fläche (Konstruktion EWC) gewählt werden. Die Theorie von Reynolds wurde in den Jahren 1914 bis 1916 von BBC durch umfangreiche Versuche überprüft und ergänzt¹⁾.

Zur Erhaltung eines betriebssicheren Oelfilms ist nach dem Gesagten eine bestimmte Formgebung der beiden Spurringe erforderlich. Der obere rotierende Ring ist für alle Lager in der Hauptsache gleich ausgeführt. Er ist am Mitnehmerkopf festgeschraubt und durch Keile gegen Verdrehen gesichert. Er muss absolut plan sein und wird geschliffen sowie fein poliert, eventuell gewalzt. Bei der Gestaltung des unteren Spurlagerringes sind, wie bereits angedeutet, EWC und BBC, bzw. Bell, verschiedene Wege gegangen.

Beim EWC-Lager besteht der untere, feststehende Spurring (Fig. 6) aus einem kompakten Ring aus Feinguss, welcher frei auf einer bearbeiteten Fläche des Oelbehälterbodens liegt und nur durch zwei am Umfang angebrachte Keile gegen

¹⁾ Siehe BBC Mitt. 1917, Nr. 1 bis 4.

Verdrehen gesichert ist. In diesem Ring sind 8 radial verlaufende Oelnuten ausgespart. Die dadurch entstehenden 8 Kreisringsektoren bestehen je aus einer Anlauffläche und einer Tragfläche. Die Anlaufflächen sind gegen die radialen Oelnuten stark abgerundet und besitzen einen Anzug von 0,15 %. Sie dienen zur Bildung des tragfähigen Oelkeils. Die Tragflächen sind vollständig plan.

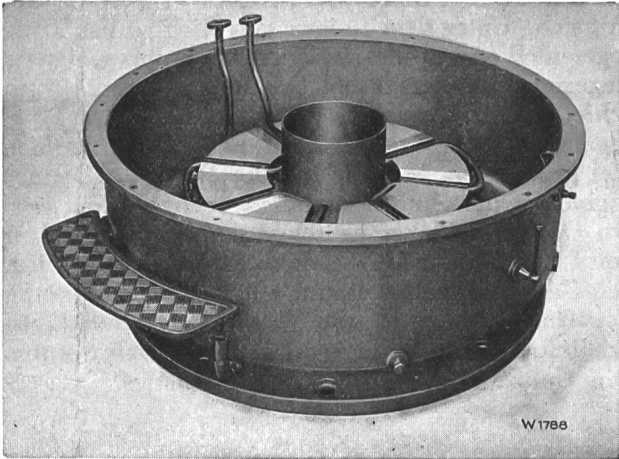


Fig. 6.
EWC-Spurrlager, geöffnet, mit unterem Spurring.

Fig. 7, ein Ausschnitt aus der Abwicklung der beiden Spurringe, zeigt die Wirkungsweise. Der rotierende obere Spurring reisst das Oel aus der Oelnute mit sich. Das Oel gelangt über die Anlauffläche und wird dort durch Keilwirkung in der beschriebenen Weise auf Druck gebracht und als tragfähiger Oelfilm der Tragfläche zugeführt. Hinter jeder Oelnute, im Drehsinn verstanden, ist am Umfang des Tragringes ein Leitblech angeordnet, welches das rotierende Oel auffängt und in die Oelnute treibt. Zur Verstärkung der Kühlung des Oeles werden die Oelnuten von einer besonderen Kühlschlange aus Kupferrohr durchzogen. Anlauf- und Tragfläche besitzen je eine Bohrung, an die Manometer angeschlossen sind, welche gestatten, die an den betreffenden Stellen auftretenden Oelpressungen während des Betriebes zu beobachten. Fig. 8 zeigt die über einem Spurlagersektor auftretenden Oelpressungen, gemessen an einem EWC-Versuchslager. An einem Spurlager in Siebten

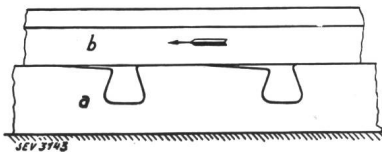


Fig. 7
Abwicklung der Spurringe, unbelastet.
a Unterer Spurring.
b Oberer Spurring.

wurden in der Mitte einer Tragfläche Drücke von 75 bis 120 kg/cm² festgestellt, Werte, die das 3- bis 5fache der rechnermässigen spezifischen Spurlagerbelastung betragen.

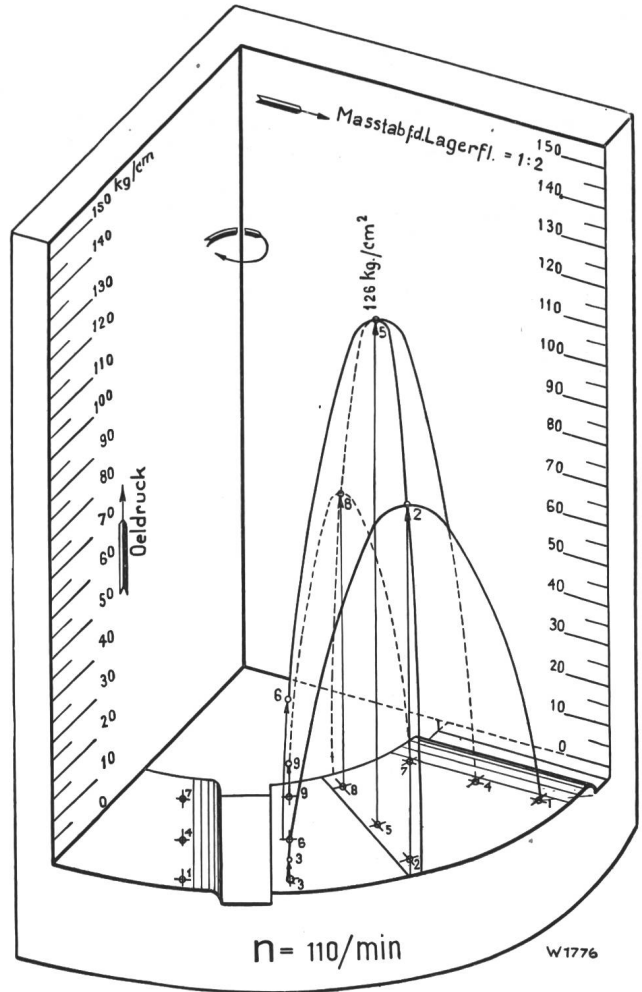


Fig. 8
Druckverlauf über einem Spurlagersektor des EWC-Spurrlagers.

Im Gegensatz zu dem eben beschriebenen besteht beim BBC- und Bell-Lager der untere Spurring aus 11 bzw. 16 beweglichen Segmenten. Diese sind auf Kugeln aus Stahl mit 50,8 bzw. 29 mm Durchmesser gelagert und durch radial angeordnete Zapfen an einer Bewegung in der Drehrichtung verhindert. Zwischen den Segmenten sind

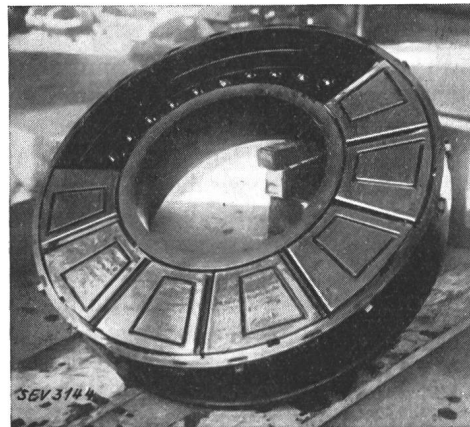


Fig. 9
Unterer Spurring zu einem BBC-Generatorspurrlager.

radiale Oelkanäle offengehalten, gegen welche die Segmente ebenfalls Abrundungen aufweisen. An die Abrundungen schliesst sich eine 15 bzw. 7 mm

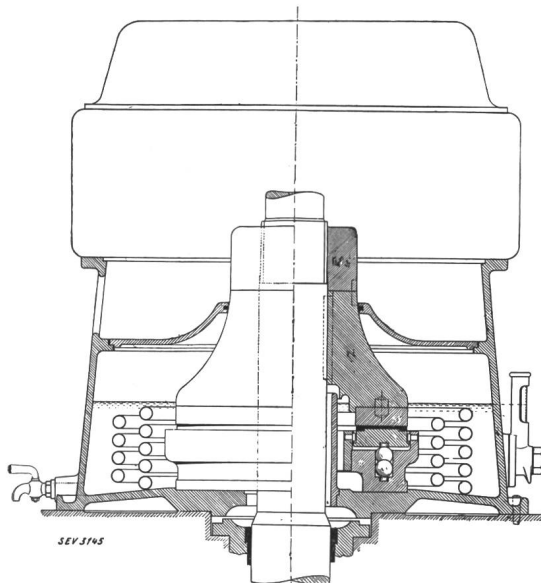


Fig. 10
Schnitt durch ein Bell-Spurlager.
(Liz. BBC.)

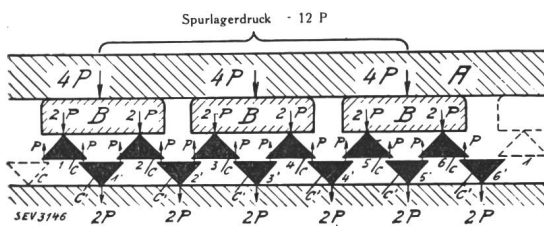


Fig. 11.
Prinzip der Lastverteilung auf die Segmente.

lange Anzugsfläche mit 0,1 bzw. 0,2 mm Anzug und dann folgt eine plan abgerichtete und geschabte Fläche. Auf der Oelaustrittsseite ist wiederum eine schwache Abrundung vorhanden. Fig. 9 zeigt den Spurring zu einem Generatorlager. In den Segmenten sind gehärtete Stahlzapfen eingelassen, welche die Segmentbelastung auf die erwähnten Kugeln übertragen. Diese liegen ihrerseits auf einer zweiten Reihe Kugeln, die sich in einem Kugelgehäuse befinden, das frei auf einer Arbeitsfläche im Oelbehälter liegt und ebenfalls nur gegen Verdrehen gesichert ist. Die unteren Kugeln sitzen wiederum auf gehärteten, im Kugelgehäuse befestigten Zapfen. Die Kugeln sind beweglich; Rollbewegungen sind jedoch verhindert. Fig. 10 zeigt den Vertikalschnitt durch ein solches Lager. Wie Fig. 5 zeigt, erfolgt die Oelkeilbildung nun in der Weise, dass die Segmente um die erwähnten radialen Zapfen kippen und damit gegenüber dem oberen Spurring schief zu stehen kommen. Diese Schiefstellung wird beim BBC-Lager durch exzentrische Anordnung dieser, sowie der gehärteten Tragzapfen gegenüber der Segmentmitte noch begünstigt. Beim Bell-Lager wurde mit

Rücksicht auf den möglichen Rückwärtslauf auf die Exzentrizität verzichtet. Eine Kühlung des Oeles in den radialen Oelkanälen findet beim BBC- und

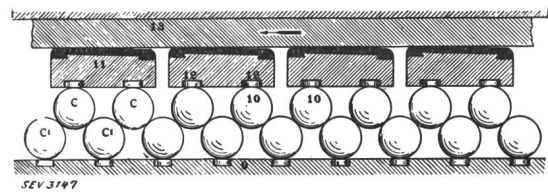


Fig. 12.
Konstruktive Ausführung der Segmentlagerung auf Kugeln.

beim Bell-Lager nicht statt. Manometer zur Messung der Oelpressungen fehlen ebenfalls. Fig. 11 zeigt das Prinzip der Lastverteilung auf die ver-

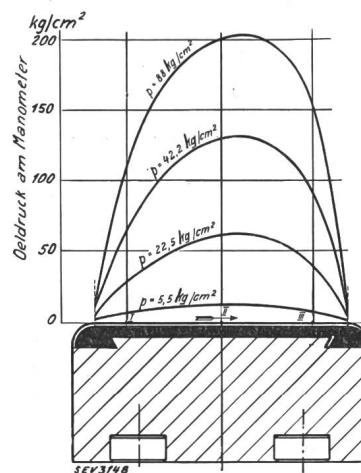


Fig. 13.
Druckverteilung in der Umfangsrichtung eines Tragsegmentes bei verschiedenen Belastungen, gemessen an einem Versuchslager von Bell & Co.

schiedenen Segmente, Fig. 12 die konstruktive Lösung desselben. In Fig. 13 ist der Druckverlauf über einem Segment dargestellt, der sich bei einem Versuchslager für verschiedene spezifische Lagerbelastungen ergab.

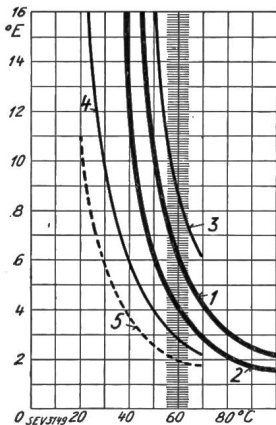
Montage, Ueberwachung und Behandlung der Spurlager.

Bei der Fabrikation ist der Auswahl des Materials und tadelloser, präziser Bearbeitung desselben grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Die Erfüllung dieser Forderungen sowie grösste Genauigkeit bei der Montage sind Grundbedingungen für den einwandfreien Lauf eines Spurlagers. Lauf- und Tragring müssen absolut plan zueinander liegen und der Mitnehmer muss so montiert werden, dass der Laufring genau senkrecht zur Rotationsaxe steht und ein Unrundlaufen nach Möglichkeit vermieden wird. Die Ansicht, dass das gute Rundlaufen bei Lagern mit beweglichen Segmenten weniger wichtig sei als bei Lagern mit festen Tragringen, ist nach unseren Erfahrungen unrichtig.

Ebenso wichtig wie die genaue Montage ist die peinlichste Reinhaltung aller Lagerteile vom Be-

ginn der Montage bis zum Einfüllen des Oeles. Der Oelfilm in der Spur beträgt nur einige Hundertstel Millimeter. Es können deshalb schon sehr kleine Fremdkörper die Kontinuität des Oelfilmes stören und dadurch zu Lagerdefekten führen. Die Oelbehälter müssen vor der Oeleinfüllung gründlich gereinigt werden, damit sich nicht etwa kleine Sand- oder Metallkörnchen aus Lunckerstellen im Betrieb lösen. Zweckmässig wird der Oelbehälter vor der definitiven Inbetriebnahme mit warmem Oel ausgeschwemmt. Eine gute Regel ist auch, das Lageröl beim Einfüllen unmittelbar vor dem Eintritt in den Oelbehälter einen Feinfilter aus Metalltuch passieren zu lassen. Man entgeht dadurch am sichersten der Gefahr, Bestandteile in das Lager zu bringen, welche es gefährden können. Auch sogenannte Reinölfässer sind nicht frei von solchen Bestandteilen. Nicht zu vergessen ist, dass der Tragring bzw. die Segmente und der Lauftring vor dem ersten Laufenlassen mit dickflüssigem Oel eingerieben werden müssen. Nach dem ersten Probelauf sollte eine Nachkontrolle des Lagers stattfinden.

In den Spurlagern der Wäggitalmaschinen werden zwei Oele verwendet. Beide sind Mineralöle. Das eine heisst «Valvozol», das andere trägt den Namen «Gargoyle D T Fusoline extra heavy». Die charakteristischen Daten dieser beiden Oele sind in Fig. 14 wiedergegeben. Die Viskosität, gemessen in



| Marke | Valvozol | Fusoline extra heavy |
|--------------------|-----------------|----------------------|
| Spez.Gewicht kg/l | 0,907 | 0,927 |
| Stockpunkt °C | > 0 | + 3 |
| Viskosität °Engler | Kurve 1 | Kurve 2 |
| Säurezahl | 0,39 | 0,82 |
| Emulgierprobe | emulgiert nicht | emulgiert nicht |

Anmerkung: Die Viskositätskurven sind auch für Rizinusöl (3) sowie für die Oele Marke Gargoyle DTE heavy medium (4) und Gargoyle DTE light (5) gegeben (Versuchsöle).

Fig. 14.

Daten der für die Spurlager im Kraftwerk Wäggital verwendeten Oele. Der schraffierte Strich markiert die im Betrieb erreichten maximalen Oeltemperaturen.

° Engler, ist darin in Funktion der Temperatur in ° C aufgetragen. Für die beiden erwähnten Oele gelten die stark ausgezogenen Kurven, während die dünn ausgezogenen, bzw. die gestrichelte Kurve Versuchsöle betreffen. Die verwendeten Oele weisen eine relativ hohe Viskosität auf, was beim Anfahren und Auslaufen der Maschine von Vorteil ist, weil ein dickerer Oelfilm entsteht. Allerdings werden auch die Lagertemperaturen höher, da der Reibungskoeffizient grösser ist.

Die Ueberwachung der Spurlager ist im Betriebe einfach. Sie umfasst die Kontrolle des Oelstandes, der Oeltemperatur und der Eintritts- und Austrittstemperatur des Kühlwassers, sowie die

periodische Betätigung der Kühlwasserfilter (Revolverfilter). Das Fehlen des Kühlwassers wird optisch und akustisch angezeigt. Als wertvoll erwies sich auch die Kontrolle der Auslaufzeiten, d. h. der Zeiten vom Abstellen der Maschinengruppen bis zu deren Stillstand. Diese Kontrolle kann erfahrungsgemäss die Möglichkeit bieten, Mängel an einem Lager möglichst frühzeitig zu erkennen und deren Ursache zu beheben, bevor grösserer Schaden entsteht. Bei den EWC-Lagern kann zudem noch die Pressung im Oelfilm je an einer Stelle der Anlauf- und der Tragfläche eines Kreissektors überwacht werden. Nötig ist hierbei allerdings, dass die Verbindung zwischen Meßstelle und Manometer absolut dicht ist.

Unerlässlich ist die periodische Reinigung des Oeles, denn es verschlamm nach und nach durch Staub, Oxydationsprodukte und andere Verunreinigungen, seine Säurezahl nimmt zu und das Oel zersetzt sich schliesslich. Auch kann infolge von Verunreinigungen im Oel bei Lagern mit Weichmetallsegmenten, z. B. Weissmetall oder Bronze, eine rasche Abnutzung der Segmente stattfinden, welche die Bildung des Oelkeiles beeinträchtigt. Bei solchen Lagern ist die periodische Reinigung des Oeles besonders wichtig.

Zwecks Beurteilung des Oeles in bezug auf seine weitere Verwendbarkeit im Betrieb nach einer bestimmten Betriebszeit wird beim Wäggitalwerk die Viskosität, die Säurezahl sowie der Schlamm- und Wassergehalt kontrolliert.

Betriebserfahrungen.

Zuerst soll über die *Lagertype mit Tragring aus einem Stück* berichtet werden. Ein solches Lager wurde zum erstenmal zum Ausschleudern eines Generatorrotors in Betrieb genommen, und zwar mit einem Oel, welches ungefähr die gleiche Viskosität besass, wie das nachher im Betrieb verwendete Valvozol. Das Lager funktionierte störungslos. Für die Inbetriebsetzung der ersten Maschinengruppe in Siebnen wurde auf Drängen eines Oellieferanten ein Oel mit kleinerer Viskosität verwendet; das Spurlager hat jedoch beim ersten Auslauf angefrassen. Für das Ersatz- und für weitere Lager wurde Valvozol verwendet; Störungen traten darauf keine mehr ein. Die Spur eines Lagers wurde im Jahre 1932 speziell auf Abnutzung untersucht. Eine solche konnte nach ca. 14 000 Betriebsstunden nicht festgestellt werden.

An den *Spurlagern mit beweglichen Tragsegmenten an den Turbinen-Generatorgruppen* traten in der ersten Betriebszeit Störungen auf, welche in einem Fall auf das verwendete Oel, in einem zweiten Fall auf das Unrundlaufen des Mitnehmerkopfes und in einem dritten Fall darauf zurückzuführen waren, dass das Lager während ca. sechs Monaten still stand und das Oel während dieser Zeit wahrscheinlich zwischen den Gleitflächen vollständig herausgequetscht wurde.

Bei Anlass der Störung infolge Verwendung eines ungeeigneten Oeles wurden sechs verschiedene

Oele ausprobiert. Eines dieser längere Zeit gebrauchten Oele war Rizinusöl. Dieses erwärmte sich aber zu stark, bis zu 70° C. Es entwickelten sich Oeldämpfe. Das Oel zersetzte sich und musste erneuert werden. Auch das elektrisch behandelte Oel «Voltol» wurde mit Rücksicht auf den flachen Verlauf seiner Viskositätskurve probiert. Es befriedigte aber in diesem Falle nicht. Als zweckmässigste Oele wurden schliesslich die bereits erwähnten im Betrieb beibehaltenen Oele befunden.

Die Störung infolge längerer Stillsetzung des Lagers lässt es ratsam erscheinen, Spurlager nicht zu lange stillstehen zu lassen, oder wenn dies nicht zu umgehen ist, nach langem Stillstand vor dem Anlaufenlassen den Rotor zu heben, damit Oel zwischen die Gleitflächen gelangen kann. Wird das Heben vorgenommen, so müssen die Segmente mit Arretierungen versehen sein, welche verhindern, dass einzelne Segmente gehoben und nicht mehr richtig abgelegt werden. Es zeigte sich nämlich, dass die Segmente am Laufring kleben bleiben können.

Da bei Demontagen von Lagern allgemein beobachtet wurde, dass die Segmente im Innern der

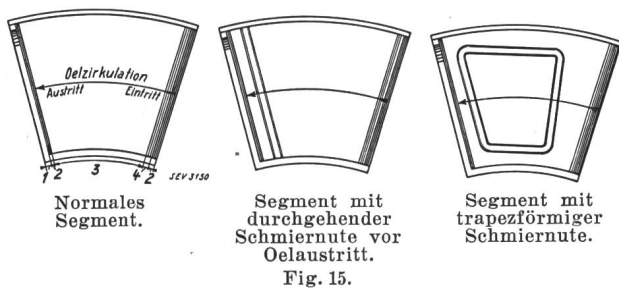


Fig. 15. Versuche beim Auslauf und Stillstand der Maschine das Oel im Segmentinnern zurückzuhalten (Generatoren Rempen).
 1 Oelkanal. 2 Abrundung. 3 Tragfläche. 4 Anzugfläche.

Fläche sehr wenig Oel enthielten, ja sogar trocken waren, wurden auch Versuche unternommen, das Oel beim Abstellen und beim Stillstand im Segmentinnern zurückzuhalten. Zu diesem Zwecke wurden die in Fig. 15 dargestellten Schmiernuten angebracht. Diese sind von Vorteil für den Anlauf, während des Betriebes dagegen eher von Nachteil.

Endlich wurden auch Erfahrungen gewonnen über das Segmentmaterial. Es sind ursprünglich Bronzesegmente geliefert worden, später wurde aber ein Lager mit Gusseisensegmenten probiert. Die Bronzelager wiesen auf der Austrittsseite des Oeles eine Abnützung auf, und zwar war diese grösser bei den Segmenten mit radialer als bei denjenigen mit trapezförmiger Schmiernute. Sie begann schon nach ca. 2000 Betriebsstunden und war erkennbar durch das Verschwinden der Schaberstriche auf der Segmentoberfläche. Fig. 16 zeigt diese Abnützung an zwei Segmenten. Auch bildete sich im Oel Schlamm. Demgegenüber konnte bei den Gußsegmenten ohne Schmiernuten erst nach 12 600 Betriebsstunden eine fast unsichtbare Abnützung festgestellt werden. Das Oel war schlammfrei.

Bei der für die *Motor-Pumpen-Gruppen* verwendeten *Lagertype mit beweglichen Tragsegmenten* entstanden anfänglich Anlaufschwierigkeiten.

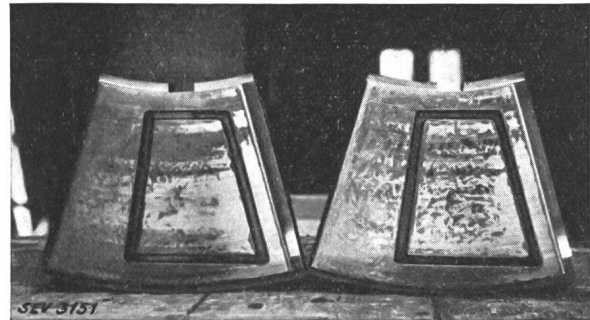


Fig. 16. Abnützung von zwei Segmenten aus Bronze nach 2000 Betriebsstunden.

Die Motoren werden mittels eines Stufentransformators mit 7 Stufen angelassen. Normalerweise erfolgt der Anlauf auf der ersten Stufe mit ca. 400 kW Leistung. Nach kurzer Betriebszeit reichte die erste Stufe nicht mehr aus; es musste auf die zweite (Anlaufleistung 700 kW) und schliesslich auf die dritte Stufe (Anlaufleistung 1000 kW) gefahren werden. Es kam sogar vor, dass der Anlauf auch mit dieser Leistung erst erfolgte, nachdem der Rotor gehoben und dadurch Oel zwischen die Gleitflächen gelangt war. Fig. 17 zeigt diese Anlaufschwierigkeiten. Aus Tabelle II ist ersichtlich, wie diese Schwierigkeiten durch Senken der Oeltemperatur abnahmen.

Anlauf in Abhängigkeit der Oeltemperatur. Tabelle II.

| Lager Nr. | Oeltemperatur ° C | Anlauf-Stufe | | Anlaufleistung | |
|-----------------|-------------------|--------------|---------------|----------------|----------|
| | | gewöhnlich | ausnahmsweise | Stufe | kW |
| I ¹⁾ | 36 | 1 | 2 | 1 | 400 |
| II | 52 | 2 | 1 | 2 | 700 |
| III | 48 | 2 | 3 | 3 | bis 1000 |

¹⁾ mit Zusatzkühlung ausgerüstet.

Dieses Verhalten der Spurlager ist darauf zurückzuführen, dass die Weissmetallsegmente sich ziemlich rasch abnützten. Nach 800 bis 1000 Betriebsstunden waren sie schon vollständig abgeschliffen, nach kurzer Zeit, in einem Fall nach ca. 500 weiteren Betriebsstunden, trat ein Schleppen

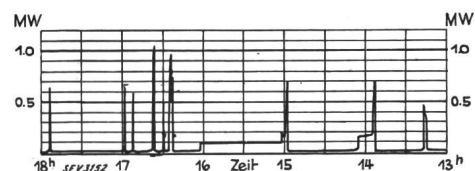


Fig. 17. Wattmeterstreifen von den Anlaufversuchen an einem Pumpenmotor mit Weissmetall-Segmenten.

von Weissmetall ein, wie es in Fig. 18 dargestellt ist. Dadurch trat eine Störung ein, indem sich kein richtiger Oelfilm bilden konnte.

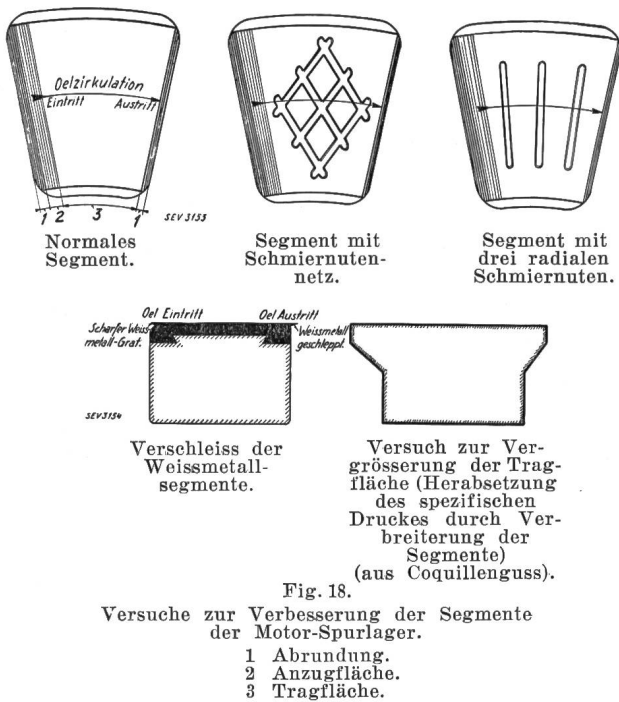


Fig. 18.

Versuche zur Verbesserung der Segmente der Motor-Spurlager.

- 1 Abrundung.
- 2 Anzugfläche.
- 3 Tragfläche.

Das Nachschaben der Segmente verbesserte jeweils den Anlauf. Andererseits waren bei den abgeschliffenen Segmenten trockene Stellen im Innern festgestellt worden. Es wurde deshalb auch hier versucht, mit Oelnuten diesem Mangel abzuwehren. Die radialen Oelnuten erwiesen sich aber als schlecht, diejenigen mit dem Netz verhielten sich besser, jedoch nicht auf lange Dauer. Nach Tabelle II hätte eine wesentliche Vergrößerung der Oelkühlvorrichtung Abhilfe bringen müssen. Diese Lösung wäre aber zu kostspielig gewesen, so dass andere Wege beschritten werden mussten.

Vorerst wurden die Weissmetallsegmente durch Gusseisensegmente ersetzt. Ausserdem versuchte man, die Tragfläche zu vergrössern, um den spezifischen Druck zu verkleinern, indem man die Segmente, wie in Fig. 17 angedeutet, verbreiterte. Dieser Versuch führte aber zu Störungen, indem sich der obere Teil der Segmente stärker ausdehnte und dadurch wölbte. Die besten Resultate wurden schliesslich mit Segmenten aus Grauguss (Feinguss) erhalten, welche die gleichen Dimensionen aufweisen wie die ursprünglichen Weissmetallsegmente. Auch bei dieser Lagertypen zeigte sich das günstige Verhalten von Gußsegmenten gegenüber Abnutzung. An einem Lager mit 13 000 Betriebsstunden war eine Abnutzung kaum zu bemerken. Am besten eignet sich für die Segmente ein sand- und porenfreier Feinguss. Von der Verwendung von Coquillenguss, insbesondere ohne Ausglühen desselben, ist abzuraten. Als Öl wurde bei diesen Lagern durchwegs Valvolz verwendet.

Ueber die Reversierbarkeit der Lager ist zu bemerken, dass verschiedene Rückläufe nicht schaden. In einem Fall, in welchem infolge Versagens der Pumpen-Rückschlagklappe längere Zeit ein Rückwärtslauf mit 750 U/m stattfand, trat ein Lagerdefekt ein.

Eine Störung ist noch zu erwähnen, welche zeigt, wie wichtig es ist, die Lager gegenüber dem

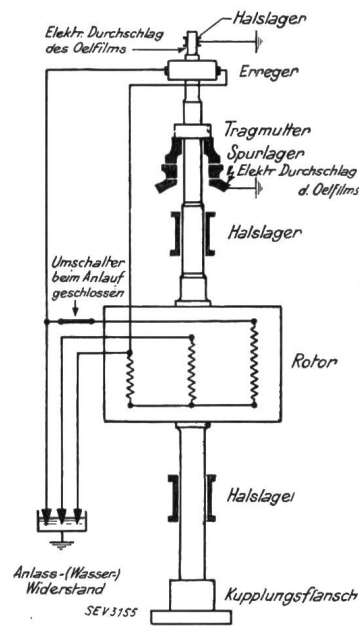


Fig. 19.

Elektrischer Durchschlag an einem Motorspurlager und am Erreger-Halslager bei Eisenschluss der Rotorwicklung.

Statorgehäuse elektrisch zu isolieren. Infolge eines Eisenschlusses der Rotorwicklung (Fig. 19) wurde der Oelfilm durchgeschlagen. Der Stromdurchtritt konnte an kraterförmigen Brandstellen in zwei Tragsegmenten und am Laufring sicher festgestellt werden.

Schlussfolgerungen.

Die Betriebserfahrungen zeigen, dass für die bei den Wäggitalmaschinen bestehenden Betriebsverhältnisse die beiden Spurlagertypen, Spur mit Tragring aus einem Stück oder Spur mit Tragring aus beweglichen Segmenten, als gleichwertig angesehen werden können.

Die kurz nach Inbetriebsetzung aufgetretenen Störungen berühren nicht das Konstruktionsprinzip, sondern stehen im Zusammenhang mit dem verwendeten Material, dem Schmieröl, der Wirksamkeit der Oelkühlung und teilweise mit dem Fehlen von längeren Betriebserfahrungen. Bei den Spurlagern der Motor-Pumpen-Gruppen kam als erschwerende Betriebsbedingung die Reversierbarkeit hinzu.

Hinsichtlich des Lagermaterials konnte bei den Lagern mit festem Tragring aus Feinguss bis dato eine Abnutzung nicht festgestellt werden. Bei den Lagern mit beweglichen Segmenten wiesen Weichmetalle, wie Weissmetall und Bronze, einen mehr oder weniger raschen Verschleiss auf, während Segmente aus Feinguss auch bei diesen Lagern bei längerer Betriebsdauer fast keine Abnutzung zeigten. Weissmetall war bei den im Betriebe erreichten Lagertemperaturen überhaupt unbrauchbar. Bei Verwendung von verschiedenem Material für Laufring und Tragring muss der Tragring aus dem weicheren Metall bestehen.

Das Anbringen von Schmiernuten in den Segmenten muss als Notbehelf betrachtet werden.

Besser ist es, durch reichliche Dimensionierung des Lagers den spezifischen Druck herabzusetzen und gleichzeitig durch *starke Rückkühlung des Oeles* zu hohe Temperaturen im Oelfilm zu vermeiden. Letzteres gilt insbesondere für Spurlager solcher Maschinen, welche nicht über grossen Ueberschuss an Anlaufleistung verfügen.

Die an den Spurlagern im Dauerbetrieb erreichten Oeltemperaturen (bis 64° C) müssen als zu hoch bezeichnet werden. Sie sollten 50 bis 55° C nicht übersteigen, für Weissmetallager sogar noch tiefer liegen. Mit zu hohen Temperaturen sind verschiedene Nachteile verbunden: dünner Oelfilm, demzufolge grössere Empfindlichkeit der Spur bezüglich Eintreten metallischer Berührung und raschere Oxydation des Oeles etc.

Diskussion.

Der **Vorsitzende** dankt dem Referenten für seine Ausführungen und eröffnet die Diskussion.

Kleiner (Generalsekretariat des SEV und VSE) weist darauf hin, dass man früher der Verwendung von Spurlagern skeptisch gegenüberstand; man glaubte, nur horizontalaxige Maschinen mit zwei Lagern wären betriebssicher genug. Heute ist dieser Standpunkt überwunden und bei der Wahl von vertikal- oder horizontalaxigen Maschinen sind nur noch bauliche und wirtschaftliche Momente ausschlaggebend. Die Spurlager sollten leicht zugänglich sein. In Europa werden sie heute meistens zwischen der Erregermaschine und dem Generator angebracht, da bei dieser Anordnung Pendelungserscheinungen der Gruppe am besten unterdrückt werden können. In Amerika findet man bei grösseren Einheiten oft auch Lösungen, bei denen das Spurlager unter dem Rotor angeordnet ist, was rein technisch wohl begründet werden kann, aber sehr komplizierte Montageverhältnisse ergibt.

Der Sprechende stellt sodann einige Fragen zur Diskussion:

- a) Welche Betriebserfahrungen liegen mit Valvozol und Fusolin als Schmiermittel vor, altern diese Oele mit der Zeit?
- b) Ist es nötig, bei den Spurlagern in den Segmenten besondere Schmiernuten vorzusehen?
- c) Können auf Grund praktischer Erfahrungen heute schon Angaben über die Abnutzung der Spurlager und über die für sie zu verwendenden Metalle (Weich- oder Hartmetalle) gemacht werden?
- d) Sind bei den Kühlschlangen zur Kühlung der Spurlager schon elektrolytische Angriffe beobachtet worden?

Der **Referent** beantwortet die von Kleiner aufgeworfenen Fragen.

Zu a): Bei Valvozol, das eine Mischung von hochwertigen russischen Oelen mit bestimmten Zusatzstoffen darstellt, ist in der Praxis gelegentlich schon eine Ausscheidung dieser Stoffe beobachtet worden, und zwar hauptsächlich an Kühlschlangenteilen, die teilweise aus dem Oel herauschauen. Die gleiche Beobachtung wurde auch beim Fusolin gemacht.

Zu b): Bei einem richtig konstruierten Spurlager sind besondere Schmiernuten in den Segmenten nicht nötig. Schmiernuten können die Kontinuität des Oelfilmes zwischen dem Laufring und dem Segment stören und dann zu einer Zerstörung des Lagers führen.

Zu c) bemerkt der Sprechende, dass Weissmetall bei hohen Lagertemperaturen starker Abnutzung unterworfen ist. Weissmetallager haben den Vorteil, dass sie gegen allfällige Verunreinigungen im Schmiermittel weniger empfindlich sind als Lager aus Hartmetallen. An den Lagern aus hartem Feinguss konnte bis jetzt eine Abnutzung nicht festgestellt werden.

Zu d): Bei den Kühlschlangen hat der Sprechende noch keine elektrolytischen Angriffe beobachten können. Dagegen

Der Einbau der Kühlschlangen in die Oelbehälter hat sich bis dahin gut bewährt. Günstig ist die zusätzliche Kühlung des Oeles in den Oelnuten des Tragringes, wie dies bei der EWC-Spur geschieht. Die Verwendung von Kupferrohren hat sich als zweckmässig erwiesen, da sich infolge ihrer glatten Oberfläche Kalksteinansatz viel weniger bildet und relativ leicht wegbringen lässt. Es ist auch das Zurückhalten und Verstopfen der Röhren mit Schlamm weniger zu befürchten. Eisenröhren sollten nicht verwendet werden, da sich in diesen die bekannten Rostbeulen bilden, welche leicht zur Verstopfung der Röhren führen.

Ueber das für die beschriebenen Lager zu verwendende Oel sei auf den entsprechenden Abschnitt verwiesen.

kann man die Bildung von Kesselstein im Innern der Kühlschlangen feststellen, besonders wenn hartes Wasser als Kühlmittel verwendet wird. Im Wäggital ist die Kesselsteinbildung gering. So betrug z. B. die Dicke der abgelagerten Kalkschicht nach 9000 Betriebsstunden $\frac{1}{10}$ bis $\frac{2}{10}$ mm. Zur Entfernung dieser Schicht wurden die Kühlschlangen ausgebaut, mit heisser Luft durchspült, hierauf abgeklopft und mit Wasser gespült. Nach dieser Behandlung waren die Kühlschlangen wieder in Ordnung. Die Kesselsteinbildung ist abhängig von der Durchflussgeschwindigkeit und der Temperatur des Kühlwassers an der Austrittsstelle.

Dietrich (Technikum Burgdorf) führt folgendes aus:

Die Spurlager, die heute zur Ausführung kommen, lassen sich in konstruktiver Hinsicht in zwei Gruppen teilen. Diejenigen der ersten Gruppe besitzen einen glatten, rotierenden und einen feststehenden Ring. Dieser ist abwechselnd mit keilförmigen Anlaufflächen und anschliessenden Tragflächen, die mit dem rotierenden Ring parallel liegen, ausgestattet. Diese Konstruktion wurde ursprünglich von der Firma Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G. in Zürich gebaut.

Die Lager der zweiten Gruppe besitzen ebenfalls einen glatten rotierenden Ring. Dagegen ist der feststehende Ring in einzelne Segmente aufgelöst, die entweder auf einem festen Punkt beweglich (Ateliers des Charmilles S. A., Genf), auf Federn ruhend (Ateliers de Constructions Mécaniques S. A., Vevey), oder auf einer oder mehreren Reihen von Kugeln (A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden, und Bell & Cie., Kriens) in jeder Richtung beweglich gelagert sind.

Bei den 22 000-kW-Maschinen im Kraftwerk Handeck ist das Spurlager über dem Armkrenz des Generators aufgebaut. Die Belastung beträgt rund 71 Tonnen, die Drehzahl 500/m. Die Maschinen 1, 2 und 4 sind mit Spurlagern (Konstruktion Escher Wyss), Maschine 3 mit einem Kingsbury-Lager ausgerüstet.

Beim *Escher-Wyss-Lager* (Fig. 1, 2, 3 und 4) läuft der rotierende Ring auf einer einteiligen, feststehenden Spurlinse, deren Lauffläche durch radiale Nuten in 8 Segmente unterteilt ist. Jedes Segment weist eine 50 bis 110 mm breite, schwach geneigte Anlauffläche auf, welche die Ausbildung des Oelfilms zwischen der anschliessenden Tragfläche und dem Laufring erleichtert. Die Laufflächen des festen Spurringes tragen einen Weissmetallaufguss. Der feste Spurring liegt mit schmalen Stegen auf einem Zwischenring (Fig. 3), der in die Sohlplatte des Spurlagergehäuses eingelassen ist. Die Stege ermöglichen im Verein mit den sich nach unten stark erweiternden radialen Nuten eine leichte Nachgiebigkeit des Ringes.

Eine durch Stirnradvorgelege von der Welle angetriebene Zahnradpumpe für 6 l/s saugt Oel aus dem als Oelbassin dienenden Spurlagergehäuse und drückt es durch einen ausserhalb des Gehäuses befindlichen zylinderförmigen Kühler mit einem wasserdurchströmten Kupferrohrbündel.

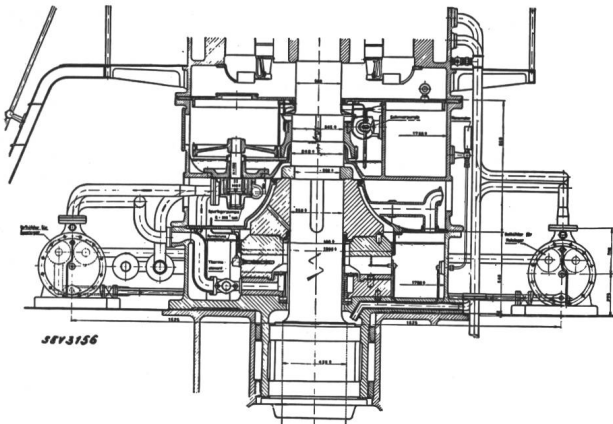


Fig. 1.
Schnitt durch ein EWC-Spurlager.

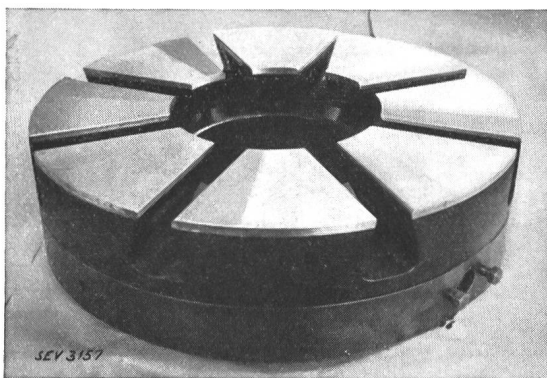


Fig. 2.
EWC-Spurlager.

Aus dem Kühler gelangt das Oel direkt in die Nuten des Spurringes.

Als Kontrollinstrumente sind angebracht: Ein Thermoelement in der Spurlinse mit Anzeigergerät in der Schalttafel, ein Thermometer im Oelbad mit Zeigerinstrument am Spurlagergehäuse, daneben je ein Manometer für den Oeldruck auf der Anlauf- und Tragfläche der Spurlinse, sowie ein Schauglas für den Oelstand.

Beim Spurlager der Bauart Kingsbury (Fig. 5 und 6) besteht die Tragfläche aus einzelnen Segmenten mit einem Weissmetallaufguss. Jedes Segment ruht auf einer Stahlunterlage, die sich auf eine einstellbare Schraube stützt. Die Stellschrauben sind bei der Montage so einzustellen, dass alle Segmente gleichmässig tragen. Eine Sicherung verhindert das Verstellen der Schrauben im Betrieb. Die

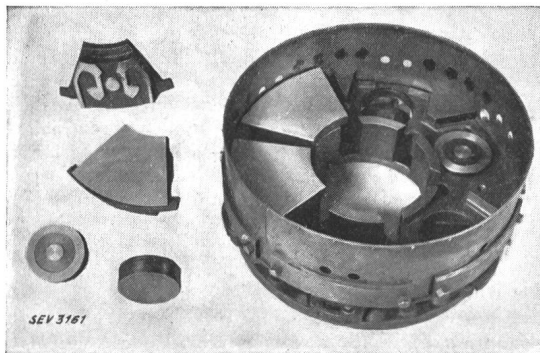


Fig. 6.
Kingsbury-Spurlager mit Einzelteilen.

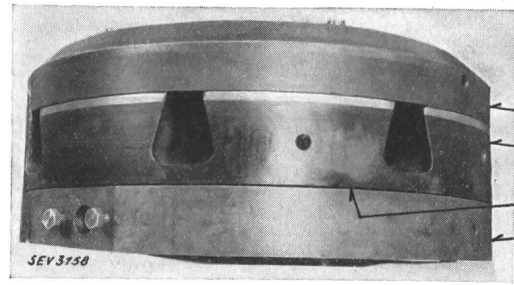


Fig. 3.
EWC-Spurlager.
1 Lauflinse. 3 Stege.
2 Spurlinse. 4 Zwischenring.

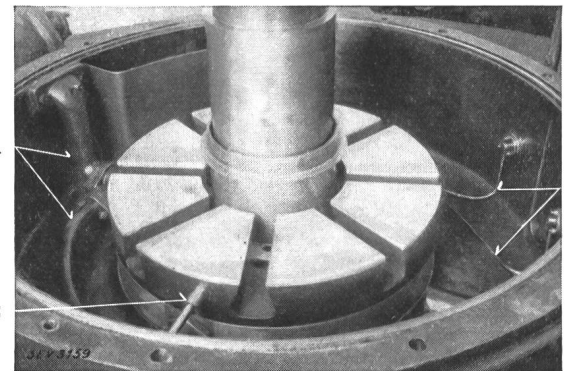


Fig. 4.
EWC-Spurlager im Lagerkübel.
1 Kaltölzuleitung.
2 Thermoelement.
3 Manometerleitungen.

Segmente sind eben. Sie können sich durch Kippen auf den Schraubenköpfen in die für die Bildung des Oelfilms notwendige geneigte Lage selbsttätig einstellen.

Die Oelkühlung erfolgt wie beim EWC-Lager, mit dem Unterschied jedoch, dass das gekühlte Oel nicht direkt zu den Segmenten geleitet wird, sondern durch ein in der Drehrichtung gekrümmtes Rohr in das Oelbad zurückfliesst. Beim Kingsbury-Lager fehlen die Anzeigergeräte für den Oeldruck auf dem Spurring.

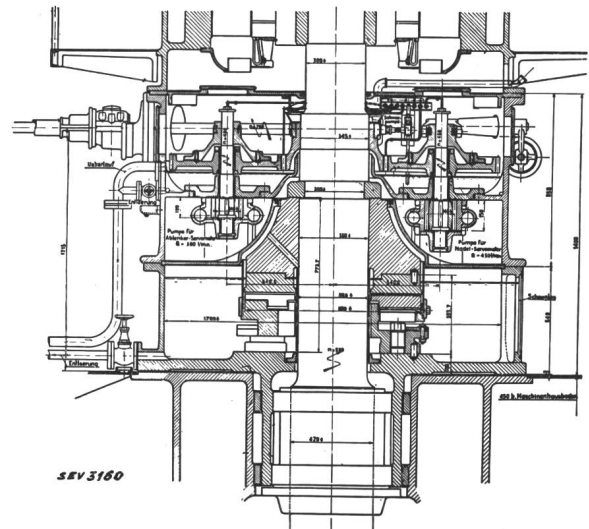


Fig. 5.
Schnitt durch ein Kingsbury-Spurlager.

Mit den Lagern sind ausgedehnte Versuche durchgeführt worden, um deren Reibungsleistung, Temperatur der Spurringe, des Oeles vor und nach dem Kühler, des Oeldruckes auf der Anlauf- und auf der Tragfläche bei den verschiedenen Drehzahlen zu bestimmen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Reibungsleistung bei konstanter Kühlwassermenge mit der Drehzahl rasch zunimmt. Sie beträgt bei 500 U/m ca. 66 kW. Mit der Drehzahl steigen auch die Oel- und Spurringtemperaturen.

Im Betriebe haben sich beide Lagerkonstruktionen bewährt. Es ist dies in der Hauptsache der sorgfältigen Ausführung sowie der sehr wirksamen *zwangsläufigen äusseren Oelkühlung* zuzuschreiben. Das gekühlte Oel wird den Lagern an der Stelle zugeführt, wo es am wirksamsten ist. Die schweizerischen Maschinenfabriken sind in der Lage, zuverlässige Spurlager zu liefern, und es ist deshalb nicht notwendig, dieselben aus dem Auslande zu beziehen.

Dr. Oertli (Bernische Kraftwerke A.-G.) berichtet über die Erfahrungen der BKW mit den Spurlagern im Kraftwerk Mühleberg. Ein Auszug aus dem Votum findet sich im Protokoll.

Kramer (EW Olten-Aarburg) berichtet über die im Kraftwerk Gösigen mit Spurlagern gemachten Erfahrungen. Von sieben Gruppen sind drei mit Spurlagern von Escher Wyss ausgerüstet. Der obere und untere Ring besteht je aus einem Stück. Die ersten Gruppen wurden 1917 in Betrieb gesetzt und haben heute über 100 000 Betriebsstunden hinter sich; die letzte Gruppe kam 1923 in Betrieb, lief nun während etwa 70 000 Betriebsstunden. Die Lager tragen je 100 t; der spezifische Druck (bezogen nur auf die Tragfläche) beträgt ca. 40 kg/cm². Die untere Linse war anfänglich etwas beweglich angeordnet (Kugelsitz). Es traten aber bald Störungen auf, die dazu führten, dass man den Kugelsitz blockierte. Seither sind keine Störungen mehr vorgekommen. Zur Frage der Verwendung von Valvolol bemerkt der Sprechende, dass das EW Olten-Aarburg mit diesem Schmiermittel gute Erfahrungen gemacht hat. Bei den beiden ersten Gruppen wurde das Oel seit deren Inbetriebsetzung im Jahre 1917 bis heute nur einmal, bei der im Jahre 1923 in Betrieb gesetzten Gruppe überhaupt noch nie ausgewechselt, weil nicht die geringste Zersetzung des Oeles zu beobachten ist. Die Temperatur des Oeles schwankt zwischen 40 und maximal 48° C. Bei den beiden ersten Gruppen wurden Kühlschlangen aus Eisen eingebaut. Bei Anlass der Auswechslung eines Laufrades wurden bei der einen Gruppe die eisernen Kühlschlangen durch solche aus Kupfer ersetzt. Bei der andern Gruppe sind die eisernen Kühlschlangen heute noch vorhanden. Nachteile haben sich bis jetzt keine gezeigt. Immerhin ist bei den Kupferschlangen die Oeltemperatur tiefer.

Kleiner glaubt, dass es nicht so sehr auf die feste oder bewegliche Anordnung der Segmente, als auf eine richtige Kühlung des Oels und dessen Führung an die richtige Stelle ankommt. Bewegliche Segmente haben gegenüber festen den Nachteil, dass es schwieriger ist, die Maschine zum ruhigen Lauf zu bringen. Der Sprechende verweist sodann auf einen Fall aus der Praxis, wo ein Lager wahrscheinlich infolge der Verwendung von zu dünnflüssigem Oel versagt hat. Als dann dieses Oel durch Rizinusöl ersetzt worden war, konnte die betreffende Gruppe ca. drei Wochen lang in Betrieb gesetzt werden. Nach dieser Zeit zeigte sich aber eine Zersetzung des Rizinusöls. Da die Betriebssicherheit der Spurlager in erster Linie von der richtigen Schmierung der Lager abhängt, sollten dieselben mit besonderen Temperaturüberwachungseinrichtungen ausgerüstet werden.

Diétrich bemerkt zu den Ausführungen Kramer, dass es sich bei den Spurlagern des Kraftwerkes Gösigen um leichte Lager handelt, d. h. um Lager, bei denen das Produkt aus dem mittleren spezifischen Flächendruck (bezogen auf Tragfläche und Anlauffläche) und der mittleren Umfangsgeschwindigkeit verhältnismässig klein ist. Dieses beträgt für die Spurlager in Gösigen 75 gegenüber 296 für diejenigen in Siebren, 360 in Terni und 357 in Handeck. Die in Gösigen

gemachten Erfahrungen mit leichten Lagern lassen sich nicht ohne weiteres auch auf die schweren Lager übertragen. Zum Problem der Oelkühlung bemerkt der Sprechende, dass eine äussere, zwangsläufige Kühlung für schwere Lager die beste Lösung ist. Das ausserhalb des Spurlagers gekühlte Oel kann dann an die richtigen Stellen, d. h. nach den Gleitflächen der Ringe, geführt werden. Bei der Anordnung der Kühlschlange im Spurlager selbst steigt das Oel infolge Rotation am äusseren Rande des Lagers hoch. Dort kühlt es sich ab, während im Innern des Lagers eine Kühlung nicht stattfindet. Die Oelkühlung ist auch abhängig von der verwendeten Oelsorte. Spurlager mit beweglichen Segmenten sind auf die verwendete Oelsorte und die Oeltemperatur weniger empfindlich als solche mit festen Segmenten, weil sich die ersteren automatisch auf den der Viskosität des Oeles entsprechenden Winkel einstellen können. Bei Verwendung von Weissmetall für den unteren Ring oder die unteren Segmente muss die Maschine gegen axiale Verschiebungen besonders gesichert werden, da sonst beim Anfressen des Lagers und Schmelzen des Weissmetalls ein Absacken der Welle und eine Zerstörung der Maschine eintreten kann.

Stahel (KW der Jungfraubahn, Lauterbrunnen) berichtet über die Erfahrungen mit einer Francis-Turbine von 600 kW mit Spurlager. Die Turbine funktionierte jahrelang ohne irgendwelche Störungen, bis eines Tages (vor 27 Jahren) das Lager heiss lief. Das Lager wurde ausgewechselt, aber alle drei nacheinander eingesetzten Reservelager versagten schon nach kurzer Zeit. Es blieb nichts anderes übrig, als das Lager mit Wasser zu kühlen. Sobald das Kühlwasser vermindert wurde, erhöhte sich die Temperatur unzulässig. Als Ursache des Versagens der Lager fand man den Umstand, dass für Trag- und Druckring das gleiche Metall gewählt wurde. Nachdem der Druckring durch einen aus anderm Metall ausgewechselt war, konnte das Kühlen durch Wasser eingestellt werden und es zeigten sich keine Störungen mehr.

Die Praxis ergab, dass zwei verschiedene Metalle, wie Weissmetall auf Stahl, sich bewährten, hingegen gleiche Metalle, wie Stahl auf Stahl, zum Heisslaufen neigten. Später wurde das Lager durch ein Kugellager und dann durch ein Spurlager von Escher Wyss ersetzt.

Da die Diskussion nicht weiter benützt wird, erteilt der **Vorsitzende** dem Referenten das Schlusswort.

Der **Referent** weist darauf hin, dass mit Recht betont wurde, dass eine gute Kühlung des Schmiermittels von höchster Bedeutung ist für das gute Funktionieren eines Spurlagers. Er bezweifelt aber, ob in allen Fällen eine äussere, zwangsläufige Kühlung angewendet werden muss. Bei kleineren Einheiten genügt oft eine Kühlung des Oels durch in das Spurlager eingebaute Kühlschlangen. Eine äussere Oelkühlung kompliziert und verteuert die Anlage und kann Anlass zu Störungen geben. Zur Frage, ob massive oder in Segmente aufgelöste Spurlager zu verwenden sind, glaubt der Sprechende, dass dies von Fall zu Fall entschieden werden muss. Mit beiden Arten von Lagern liegen aus der Praxis gute Erfahrungen vor. Ein wichtiger Punkt ist die Erziehung des Maschinenpersonals zur regelmässigen Kontrolle der Lagertemperaturen und der Auslaufzeiten. Die Temperatur des Oeles sollte 50° C nicht überschreiten. Vom Fabrikanten muss verlangt werden, dass die Maschine auch dann noch in Betrieb gehalten werden kann, wenn einmal die Kühlwasserzufuhr für kurze Zeit unterbrochen wird. Die Revision des Oeles sollte regelmässig stattfinden. Das Oel kann mit der Zeit verschlammten und damit Anlass zu Störungen geben. Zu den Ausführungen Stahel bemerkt der Sprechende, dass bei zweckmässiger Wahl sich auch gleiches Material für Druck- und Tragorgan bewähren kann, beispielsweise ist im Wäggital ein Lager mit Druck- und Tragring aus Feinguss seit sieben Jahren ohne irgendwelche Störung im Betrieb. Stahl auf Stahl hat sich, wie die Erfahrung schon frühzeitig zeigte, nicht bewährt.

Der **Vorsitzende** dankt den Diskussionsrednern bestens für ihre Beiträge.