

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 35 (1944)

Heft: 15

Artikel: Auswuchtgerät für Kreisel

Autor: Carlstein, Olof

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1061590>

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: 16.02.2026

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

moins l'enclenchement du disjoncteur s'effectua lors de la première coïncidence des phases, c'est-à-dire dans un temps de 30 à 60 secondes compté à partir du moment où le dispositif est mis en service. Malgré cette rapidité, les à-coups de puissance indiqués par le wattmètre enregistreur ne

dépassèrent pas ± 1000 kW, soit le 4 % de la puissance nominale de l'alternateur.

Il nous paraissait utile d'attirer l'attention sur le dispositif de synchronisation rapide automatique, qui facilite la tâche du personnel de Verbois et contribue à la bonne marche de l'usine.

Auswuchtgerät für Kreisel

Von Olof Carlstein, Stockholm

621-755

Es wird ein Auswuchtgerät für Kreisel von Flugzeug-Gyroskop beschrieben, das gestattet, Unwuchten bis hinab zu 0,5 Milligrammzentimeter auf 5° des Kreiselumfanges genau zu bestimmen. Die durch die Unwucht des Kreisels verursachten Vibrationen werden in Spannungsschwankungen umgewandelt, die einer Kathodenstrahlröhre zugeführt werden. Mit einer zweiten Ablenkspannung, die ebenfalls vom Kreisel gesteuert ist, werden nun charakteristische Figuren auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre erzeugt, aus denen Grösse und Lage der Unwucht bestimmt werden.

Wegen den hohen Drehzahlen, etwa 10 000...40 000/min, werden die Lager der Kreisel grosser Abnutzung ausgesetzt. Man muss deshalb danach streben, die Lagerbeanspruchungen durch möglichst vollständige Auswuchtung des Rotors herabzusetzen.

L'auteur décrit un appareil d'équilibrage des gyroscopes d'avions. Cet appareil permet de déterminer, à 0,5 milligrammes-centimètres près, les défauts d'équilibrage, sur 5° de la circonference du gyroscope. Les vibrations provoquées par les défauts d'équilibrage sont transformées en oscillations de tension, qui sont enregistrées par un tube à rayons cathodiques. Une deuxième tension de déviation, qui est également provoquée par le gyroscope, permet alors de créer des figures caractéristiques sur l'écran du tube à rayons cathodiques et de déterminer ainsi l'importance et la position du défaut d'équilibrage.

sehr schnellen und kleinen Vibrationen nicht registrieren.

Deshalb musste hier meistens das menschliche Gefühl als Messgerät für die Vibrationen funktionieren. Die Auswuchtung muss allerdings weiter getrieben werden als der Gefühlssinn zu registrieren vermag. Hinzu kommt die Unfähigkeit des Gefühlssinnes, solche Vibrationen, die von der Unwucht des Kreisels verursacht werden, von solchen, die auf Lagerdefekte zurückzuführen sind, zu unterscheiden.

Das Auswuchtgerät, das im Folgenden beschrieben wird, ist in erster Linie zur Auswuchtung von Flugzeugkreiseln bestimmt.

Ein Auswuchtgerät muss unter anderem folgende Forderungen erfüllen:

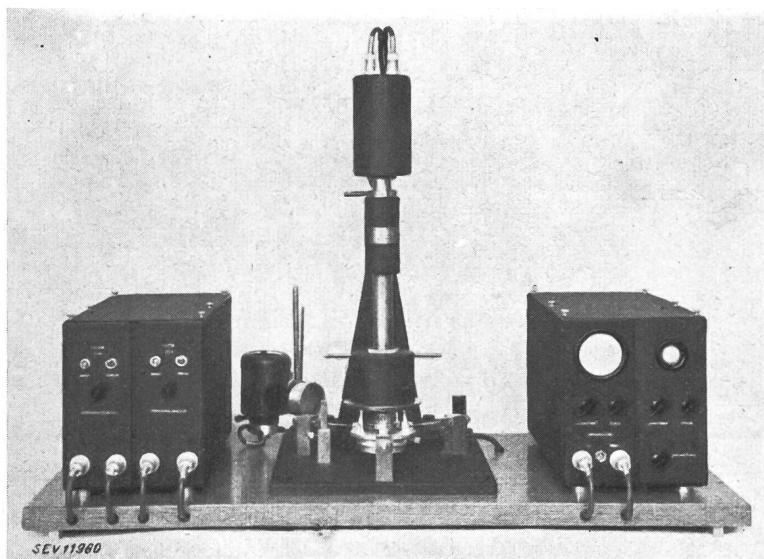


Fig. 1.
Auswuchtgerät für Kreisel

zen. Es hat aber stets Schwierigkeiten bereitet, einen Kreisel so weit auszuwuchten, dass die Vibrationen in einem annehmbaren Verhältnis zu dem stehen, was die empfindlichen Rotorlager aushalten, da Auswuchtgeräte mit hinreichend hoher Empfindlichkeit früher auf dem Markte nicht greifbar waren. Apparate, die z. B. bei der Auswuchtung von Rotoren der Elektromotoren oder ähnlicher Objekte angewendet werden, bei denen der Rotor auf eine Brücke gesetzt wird, von wo die Vibrationen auf mechanischem Weg zu einem Messgerät überführt werden, können für Kreisel nicht in Frage kommen, da solche Apparate die

1. Die Unwucht des Kreisels soll in ihrer Grösse und ihrer Richtung angegeben werden.
2. Die Richtung der Unwucht muss auf ungefähr 10° genau auf dem Umfang des Kreisels bestimmt werden können.
3. Die Empfindlichkeit des Gerätes soll so gross sein, dass die verbleibenden Vibrationen den Lagern nicht schaden können. Wenn es sich um Rotoren zum Flugzeuggyroskop handelt, muss das Gerät eine Unwucht registrieren können, die geringer als ein Milligrammzentimeter ist.
4. Das Gerät muss Vibrationen, die von der Unwucht des Kreisels verursacht werden, von solchen, die auf Lagerdefekte zurückzuführen sind, unterscheiden können.
5. Das Gerät muss leicht bedienbar und betriebssicher sein.

Das Gerät, das die Fig. 1 zeigt, wurde durch die AG. Aerotransport, Stockholm, entwickelt und ist dort seit September 1941 täglich in Gebrauch; es

hat sich bei der Erfüllung der genannten Forderungen bewährt.

Das Prinzip des Gerätes geht aus Fig. 4 hervor.



Fig. 2.
Flugzeug-Bordinstrumente

Der Kreisel ist mit seiner Achse vertikal in einem Rahmen angebracht (Fig. 5), der seinerseits in einem Ring ruht, der zwischen drei Blattfedern gespannt ist. Für die relativ kleinen Vibrationen, die in Frage kommen, verursachen die Federn eine nur geringe Dämpfung; der Rotor mit dem Rah-

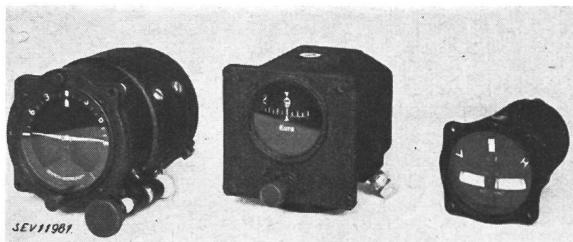


Fig. 3.
Rotoren zu Flugzeug-Bordinstrumenten,
die mit dem Auswuchtgerät geprüft werden

men kann als frei um die vertikale Achse schwebend betrachtet werden. Wegen der Unwucht des Kreisels wird daher, wenn der Kreisel in Rotation versetzt wird, das obere Ende der Achse eine Kreisbewegung beschreiben, deren Grösse von dem Grade der Unwucht abhängig ist (Fig. 6).

Der obere Teil des Aufhängerahmens ist zu einer Hülse ausgeformt, in welcher ein drehbarer Belag

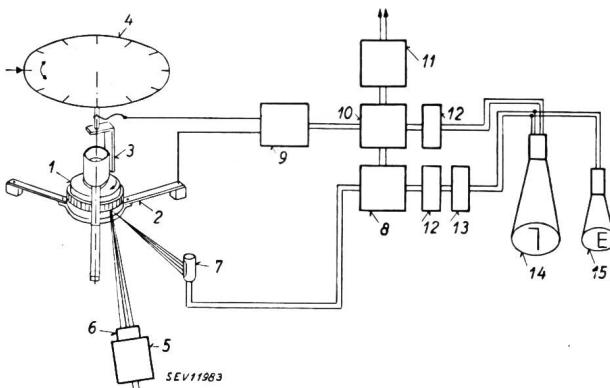


Fig. 4.

Prinzipschema des Auswuchtgerätes

1 Rotor. 2 Blattfeder. 3 Belag. 4 Drehbare Skala 5 Lichtquelle. 6 Linse. 7 Photozelle. 8 Photozellverstärker. 9 Vorverstärker. 10 Hauptverstärker. 11 Gleichrichteraggregat. 12 Filter. 13 Impulsgeber. 14 Kathodenstrahlröhre. 15 Kathodenstrahlröhre/ Stroboskop.

angebracht ist. Der Belag und die Hülse bilden einen Kondensator. Dieser Kondensator ist aufgeladen.

Durch die Vibrationen des Kreisels ändert sich die Kapazität des Kondensators, und die Wirkungsart der Vorrichtung gründet sich darauf, dass die

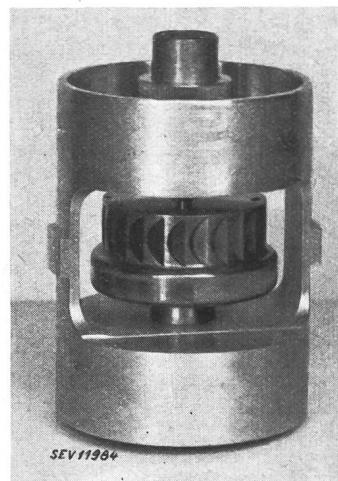


Fig. 5.

Kreisel, im Rahmen des
Prüfgerätes eingespannt

Spannung zwischen dem Belag und der Hülse variiert, wenn sich die Kapazität des Kondensators ändert. Die Spannungsvariationen werden verstärkt und einer Kathodenstrahlröhre zugeführt zur Ablenkung in senkrechter Richtung. Die Grösse der

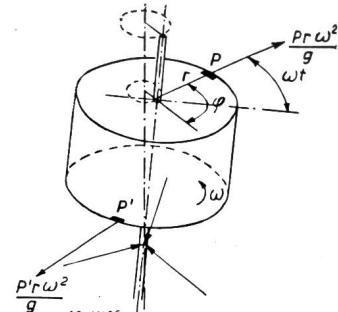


Fig. 6.

Kreisbewegung der oberen
Kreiselachse, in Abhängig-
keit der Unwucht

senkrechten Ablenkung ergibt somit ein Mass für die Grösse der Unwucht (Fig. 7).

Die Richtung der Unwucht, oder die Lage des Schwerpunktes wird durch folgende Vorrichtung bestimmt:

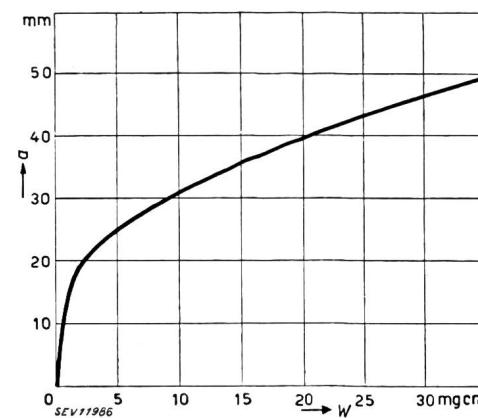


Fig. 7.
Ablenkung *a* in mm in Funktion der Unwucht (*W*) in mgcm

Der Kreisel wird von einer Lichtquelle beleuchtet, wobei ein Teil des Lichtes gegen eine Photozelle reflektiert wird. Der halbe Kreisel ist mat-

tiert, während die andere Hälfte blank ist. Auf diese Weise erhält die Photozelle bei jeder Umdrehung des Kreisels einen Lichtschimmer. Die Photozelle gibt Spannungsimpulse ab, die verstärkt und einer Kathodenstrahlröhre zugeführt werden zur Ableitung in wagrechter Richtung.

Die Spannung der Photozelle zusammen mit der Spannung des Kondensators entwickelt auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre eine Figur. Das Aussehen der Figur ist unter anderem von der Phase der beiden Spannungen im Verhältnis zueinander abhängig. Dieses Verhältnis wird für die Bestimmung der Richtung der Unwucht ausgenutzt.

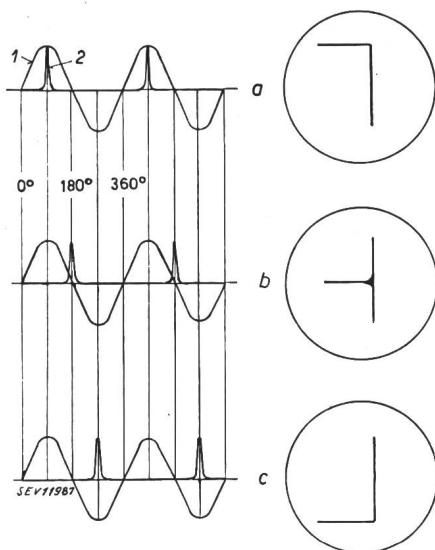


Fig. 8.

Links: Ablenkspannungen der Kathodenstrahlröhre
1 Spannung vom Hauptverstärker, senkrechte Ablenkung.
2 Spannung vom Photozellenverstärker, waagrechte Ablenkung.
a) Spannungen in Phase.
b) 90° Phasenverschiebung.
c) 180° Phasenverschiebung.

Rechts: Zugehörige Bilder auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre.

Die Spannung des Photozellenverstärkers hat Sinusform, wie die Spannung des Hauptverstärkers. Werden diese Spannungen zur Kathodenstrahlröhre geführt, erhält man auf dem Schirm der Röhre eine Ellipse oder einen Kreis, der vom Verhältnis von Grösse und der Phase der beiden Spannungen abhängig ist. Da für die Richtungsangabe der Unwucht das Phasenverhältnis der Spannungen am meisten interessiert, ist die Ellipse oder der Kreis für die Indizierung nicht sehr geeignet. Deshalb hat man eine andere geometrische Figur entwickelt, indem man die Spannung des Photozellenverstärkers in einen Impulsgeber umformt, wobei die Spannung ausgeprägtere Impulsspitzen erhält. Fig. 8 zeigt die Figuren, die auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre entstehen, wenn die Spannungen des Hauptverstärkers und des Photozellenverstärkers in Phase, bzw. 90° oder 180° phasenverschoben sind.

Die Photozellenspannung wird als Referenzspannung angewendet, weil die Photozelle und die Lichtquelle aus praktischen Gründen fest ange-

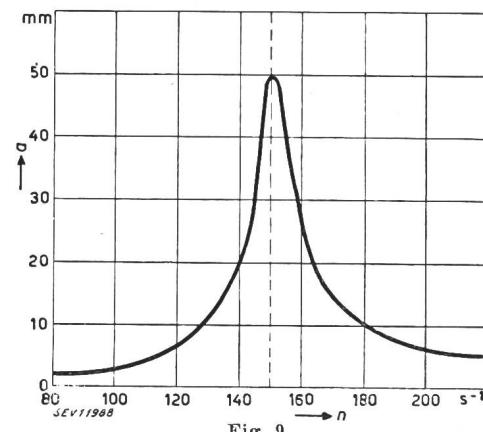
bracht sein müssen. Die Spannung des Kondensators kann dadurch in Phase mit der Photozellenspannung gebracht werden, indem der Kondensatorbelag um die Hülse gedreht wird.

Der drehbare Kondensatorbelag ist mit einer in 360° graduierten Teilung versehen. Diese Teilung steht auf Null, wenn sich der Schwerpunkt des Kreisels auf dem Uebergang vom matten zum blanken Feld befindet, und wenn der Kondensatorbelag so placiert ist, dass sich die beiden Spannungen in Phase miteinander befinden.

Um Kenntnis von der Lage der Unwucht zu erhalten, dreht man also den Kondensatorbelag, bis die Figur nach Fig. 8a entsteht, wobei der Winkel zwischen dem Matt-Blankübergang des Kreisels und dem Schwerpunkt direkt von der Teilung abgelesen werden kann.

Filtrierung

Die Lager eines Kreisels für ein Flugzeuggyroskop sind mit sehr grosser Präzision hergestellt. Trotzdem verursachen kleine Defekte der Lager-

Fig. 9.
Ablenkung a in mm in Funktion der Rotordrehzahl n pro Sekunde.

Vibrationen, die das Bild auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre flimmernd und undeutlich machen würden, wenn nicht die Spannungen, die durch diese Vibrationen entstehen, daran gehindert würden, bis zu der Kathodenstrahlröhre zu gelangen.

Weil Spannungen, die durch Lagerdefekte verursacht werden, von einer anderen Frequenz sind als die, die ihren Grund in der Unwucht des Kreisels haben, können sie durch ein Filter getrennt werden.

Dieses Filter hat seine Resonanzfrequenz bei 150 Hz, entsprechend 9000 U/min; es dämpft Spannungen geringerer oder höherer Frequenz. Das Aussehen der Filterkurve geht aus Fig. 9 hervor.

Die Drehzahl 9000/min hat sich bei der Auswuchtung von Kreiseln zum Flugzeuggyroskop als geeignet gezeigt. Falls der Kreisel mit höherer Drehzahl läuft, entsteht das Risiko, dass die Lager bei grosser Unwucht Schaden nehmen, trotzdem der Kreisel für die Auswuchtungsprozedur sehr kurze Zeit in Betrieb ist.

Die normale Drehzahl des Kreisels im Instrument beträgt etwa 10 000...12 000/min.

Das Filter hat auch den Vorteil, dass der Apparat für solche Vibrationen unempfindlich wird, die von seiner Unterlage übertragen werden können oder von Maschinen herrühren, die in der Nähe aufgestellt sind.

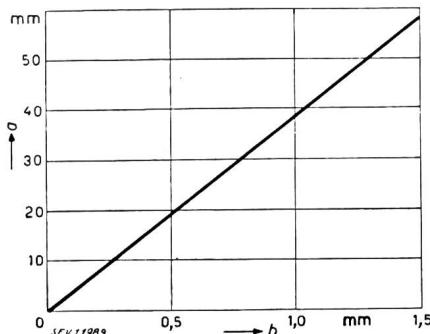


Fig. 10.

Ablenkung a in mm in Funktion der Bohrtiefe b in mm, Bohrer \varnothing 2 mm, Winkel 90°.

Zur Kompensierung der Phasendrehung, die das Filter am Hauptverstärker verursacht, ist in den Photozellenverstärker ebenfalls ein Filter eingeschaltet. Aus demselben Grunde sind die Verstärker im übrigen symmetrisch aufgebaut, so dass sie die gleichen phasendrehenden Eigenschaften haben.

Um auf einfache Weise davon Kenntnis zu erhalten, dass der Kreisel 9000 U/min hat, wird ein Stroboskop angewendet, das von einer 1" Kathodenstrahlröhre gebildet wird. Die 50periodige Netzzspannung wird als Zeitmesser verwendet, indem diese zur Ablenkung in senkrechter Richtung ausgenützt wird. Die Spannungsimpulse des Photozellenverstärkers werden zur Ablenkung in wagrechter Richtung verwendet. Da die Photozellen-

bei der kleineren Kathodenstrahlröhre auf Fig. 4 angedeutet wird.

Die Ausführung der Auswuchtung

Die Drehzahl des Kreisels wird mittels Pressluft auf 9000/min gebracht, die von dem Stroboskop angegeben wird. Der Belag des Kondensators wird

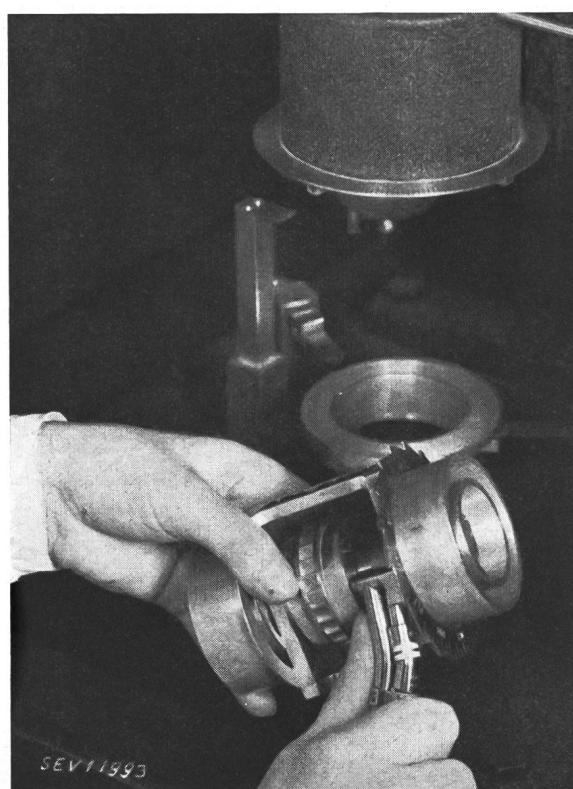
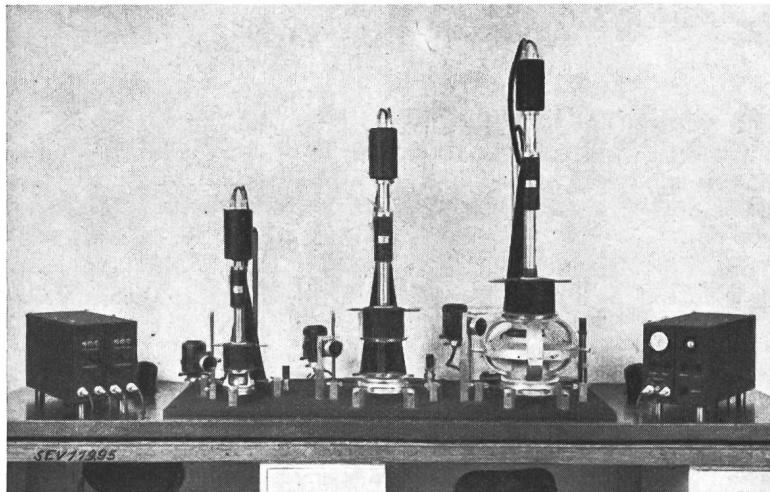


Fig. 11.

Der Rotor wird mit einem Spezialbohrgerät bearbeitet, das mit einer Sauganordnung versehen ist, um die Bohrspäne abzuführen



gedreht, bis die charakteristische Figur, wenn die Spannungen in Phase sind, auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre entsteht. Den Winkel zum Schwerpunkt des Kreisels erhält man direkt auf der graduierten Teilung, und die Grösse der Unwucht erhält man durch Abmessung der totalen vertikalen Ablenkung des Kathodenstrahls. Diese Werte gelten für die eine Seite, und entsprechende Messungen müssen deshalb für die andere Seite des Kreisels vorgenommen werden, was dadurch ge-

Fig. 12.
Kombiniertes, grösseres Auswuchtgerät für verschiedene Arbeitsobjekte

spannung eine Frequenz von 150 Hz hat, während die Netzzspannung 50 Hz beträgt, erhält man drei wagrechte Ablenkungen während der Zeit, in der der Kathodenstrahl auf dem Schirme vom niedrigsten zum höchsten Punkte wandert. Die Figur bekommt somit bei 9000 U/min das Aussehen, welches

schiebt, dass man den Aufhängerahmen umkehrt. Dann wird der Kreisel aus dem Aufhängerahmen herausgenommen und an beiden Seiten ausgebohrt.

Die Auswuchtungsprozedur nimmt insgesamt ungefähr 5...15 min in Anspruch. Hieron entfällt der grösste Teil auf die Ausbohrung des Kreisels, währ-

rend die Bestimmung der Grösse und der Richtung der Unwucht in einigen Sekunden ausgeführt werden kann.

Genauigkeit und Empfindlichkeit des Apparates.

Die Richtung der Unwucht kann mit einer Genauigkeit von ungefähr 5° des Umfanges des Kreisels bestimmt werden.

Der Apparat registriert noch eine Unwucht, die geringer als 0,5 Milligrammzentimeter ist.

Obwohl der beschriebene Apparat speziell für Kreisel von Flugzeuggyroskopen gebaut ist, kann, nach Umgestaltung des Aufhängesystems des Kreisels, der Apparat für jeden beliebigen Kreiseltyp oder jedes beliebige Arbeitssubjekt benutzt werden,

wo hohe Forderungen an die Auswuchtung gestellt werden.

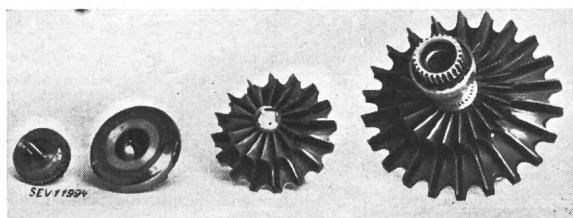


Fig. 13.
Beispiele gröserer Rotortypen für Auswuchtgerät
gemäß Fig. 12

Geräte für grössere Rotoren wurden ebenfalls hergestellt (Fig. 12) oder befinden sich in Herstellung. Fig. 13 zeigt einige dieser Rotortypen.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

75 Jahre Schweizerischer Verein von Dampfkessel-Besitzern

621.18(06)(494)

Die Gründung des Schweizerischen Vereins von Dampfkessel-Besitzern erfolgte am 9. Juli 1869 in Zürich durch private Initiative, und es konnte der Verein bis zum heutigen Tage seine Aufgabe als private Institution weiterführen.

Nach Inkrafttreten des Fabrikgesetzes, also seit etwa 70 Jahren, arbeiteten die Bundesbehörden und der Kesselverein in der Folge zusammen. Die Gründung der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt in Luzern im Jahre 1919 brachte im Prinzip keine Änderung, indem der Verein weiterhin als vom Bund eingesetzte Prüfstelle für Dampfkessel, Dampfgefäße und Druckbehälter in enger Zusammenarbeit mit der SUVA auf diesem Gebiet die Fragen der Unfallverhütung behandelt.

Aus dem Geschäftsbericht

Der 75. Jahresbericht enthält eine eingehende Würdigung der Entwicklung des Vereins und der technischen Entwicklung während 75 Jahren. Die Beurteilung der Erzeugung von Kraft und Wärme in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts geht aus folgender Schilderung hervor:

In der besonders in der Schweiz vervollkommenen Dampfmaschine besass man einen zuverlässigen Motor; eine Dampfkraftanlage kam gewöhnlich auch billiger zu stehen als eine solche mit Wasserkraft, wenn auch der Betrieb mehr kostete. So geschah denn der Zuwachs an Dampfkesseln damals meistens zugunsten der Krafterzeugung. Als in den neunziger Jahren der Bau von Elektrizitätswerken einsetzte, glaubte man an eine Verminderung der Kessel; diese trat nicht ein, denn die Elektrizitätswerke waren zunächst gezwungen, Kraftreserven zu beschaffen, und da war wieder das Nächstliegende und Billigste die Dampfkraftanlage, bis später der Verbrennungsmotor und neuerdings die gegenseitige Aushilfe der Elektrizitätswerke den Dampf auf diesem Gebiet weitgehend verdrängt haben.

Zu Beginn des neuen Jahrhunderts trat infolge der Elektrifizierung eine gewisse Stockung im Zuwachs der Kessel ein, was Oberingenieur Strupler zu der resignierten Bemerkung im Jahresbericht 1904 veranlasste, «wir müssen uns mit dem Gedanken vertraut machen, dass bei uns der höchste Punkt der Dampfindustrie erreicht, ja bereits überschritten ist». Dass dem nicht so war, zeigte die spätere Entwicklung; erst die Kriegsjahre 1914—1918 und deren Nachwirkungen brachten einen Rückgang und eine weitere Stagnation in der Entwicklung unserer Dampfkesselanlagen in der Schweiz.

Über Elektrokessel wird folgendes berichtet:

Elektrokessel, die im letzten Jahrhundert keine Vorläufer hatten, sind nun in unserer Industrie eingeführt worden. Sie sind zum grössten Teil mit Elektroden ausgerüstet, das Wasser wird als Widerstand benutzt. Diese Kessel wurden gegen Ende der letzten Kriegszeit bei uns eingeführt. Sie haben in

den Krisenjahren zur Verwendung von Abfallenergie an Zahl und Leistung zugenommen. Im Bestreben, den Ausfall an festen Brennstoffen möglichst auszugleichen, hat sich in der jetzigen Kriegszeit die Zahl dieser Kessel außerordentlich vermehrt und der gesamte Anschlusswert stark erhöht. Auf Ende 1943 wurde die Zahl von 517 Stück mit ca. 520 000 kW erreicht¹⁾.

Während des 75jährigen Bestehens wurden die Geschäfte des Vereins durch folgende Oberingenieure geführt:

Friedrich Autenheimer, Ingenieur	1869—1873
Dr. h. c. Joh. Alb. Strupler, Dipl.-Ing.	1874—1911
Ernst Höhn, Dipl.-Ing.	1912—1937
Dr. ing. P. Moser, Dipl.-Ing.	seit 1. Mai 1937

Eine gewisse historische Bedeutung hat eine Mitteilung von Oberingenieur Strupler im Jahresbericht 1887. Er orientiert an Hand eines Protokolls des St. Petersburger Polytechnischen Vereins über eine neuartige Reparaturmethode durch elektrisches Schweißen — also schon vor 57 Jahren — und knüpft daran die launige Bemerkung:

«Dann aber sollen sich unsere Kessel freuen; wird einer krank, so lässt man als Arzt den Elektriker kommen, der Riss wird an Ort und Stelle zugeschweisst oder an Stelle der abgerosteten oder abgeschieferten Blechpartie neues, gesundes Eisen aufgetragen und so die ursprüngliche Festigkeit wieder hergestellt und dies alles kaum die kurze Zeit einer gewöhnlichen Kesselreinigung in Anspruch nehmend.»

Die Jubiläumsversammlung

Diese Versammlung wurde am 4. Juli 1944 im Kongresshaus Zürich abgehalten. Sie war von etwa 350 Personen besucht. Vor der Erledigung der geschäftlichen Traktanden gab der Präsident des Vereins, Dr. H. Köchlin, Basel, einen Ueberblick über Entwicklung und Bedeutung des Schweizerischen Vereins von Dampfkessel-Besitzern. Unter den Gästen, die zu der in einfacherem Rahmen durchgeführten Jubiläumsversammlung erschienen waren, konnte er Prof. Dr. A. Rohn, Präsident des schweizerischen Schulrates, Prof. Dr. Bruno Bauer, Direktor des Fernheizkraftwerkes, sowie Prof. Dr. G. Eichelberg von der ETH, den Referenten des Tages, begrüßen.

Die Geschäfte, die auf der Tagesordnung standen, wurden reibungslos in rascher Reihenfolge erledigt, so dass der Vorsitzende das Wort bald Prof. Dr. G. Eichelberg übergeben konnte zu seinem Vortrag über die

Heizung mit Wärmepumpen.

In einem ersten Teil wurden die physikalischen Grundlagen erklärt, wobei der erste und der zweite Hauptsatz der Wärmelehre im Vordergrund standen. Zusammenfassend können wir als Erkenntnisse festhalten: Wärme ist Energie. Bei jedem thermischen Vorgang nimmt die Entropie zu. Anders ausgedrückt heißt das, dass ohne Aufwand von Arbeit

¹⁾ Angaben aus dem Jahresbericht 1942 sind enthalten im Bull. SEV 1943, Nr. 14, S. 410.