

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 29 (1938)

Heft: 5

Artikel: Der Zentrifugalanlasser mit Kugelkontakte

Autor: Pupikofer, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059368>

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: 17.02.2026

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

revisionsfälliger Batterien. Diese müssen nach gemachten Erfahrungen zum Ausgleichen der Säure alle 6 Monate an die Ladestationen eingeliefert werden.

Das Mitführen von Notlampen in den Wagen konnte in den Inlandwagen unterdrückt und auf die nach dem Ausland verkehrenden Wagen beschränkt werden.

Die grosse Verwendungsfreiheit der Wagen bei Ausrüstung jedes einzelnen mit einer Dynamo und die mit solchen Beleuchtungsausrüstungen in jeder Beziehung gemachten guten Erfahrungen brachten es denn auch mit sich, dass bei Einführung der elektrischen Zugförderung die Speisung der Wagenbeleuchtung vom Fahrdräht aus nicht mehr in Frage kam.

Der Zentrifugalanlasser mit Kugelkontakte.

Von H. Pupikofer, Zürich-Oerlikon.

621.316.717 : 621.313.333

Es wird ein Ueberblick gegeben über die wichtigsten automatischen Vorrichtungen zum Anlassen von Asynchronmotoren (Zentrifugalanlasser), die im Laufe der Jahre, seit 1896, auf den Markt kamen. Hierauf wird der neue Zentrifugalanlasser der Maschinenfabrik Oerlikon zum «Combi-Motor» beschrieben. Dieser Anlasser besitzt ein Kniehebellement und als Kontaktstücke Kugeln, die in einem Korb frei beweglich sind.

L'auteur donne un aperçu des principaux types de dispositifs automatiques de démarrage pour moteurs asynchrones (démarreurs à force centrifuge) lancés sur le marché depuis 1896. Il décrit ensuite le nouveau dispositif à force centrifuge des Ateliers de Construction Oerlikon destiné au «moteur-combi». Ce dispositif présente un élément à levier coude et, comme pièces de contact, des billes pouvant se mouvoir librement dans une cage.

Rückblick.

Seitdem man Asynchronmotoren mit gewickeltem Rotor baut, ist es üblich geworden, sie anzulassen durch stufenweise Abschaltung von Widerständen im Rotorkreis, die so bemessen sind, dass genügend Anlaufmoment vorhanden ist, ohne dass der Einschaltstromstoss für das Netz zu grosse Werte annehmen kann. Sehr bald kam der Wunsch auf, diesen Vorgang automatisch zu gestalten, um unabhängig vom Vorhandensein von geschultem Personal stets den günstigsten Anlauf zu erzielen. Grundsätzlich sind dabei zwei Wege gangbar. Man kann den Anlasser mit einem elektrischen Antrieb versehen und die Weiterschaltung von Relais aus steuern, welche auf bestimmte Anlaufzeiten oder auf bestimmte Minimalwerte des Stromes eingestellt sind. Diese Lösung setzt am Rotor Schleifringe voraus und benötigt zwischen dem Anlasser und dem Motor Leitungen im Rotorkreis und ausserdem noch separate Relais und Steuerleitungen. Sie wurde speziell in USA angewendet. Für kleinere und mittlere Motoren zog man in Europa vor, die Widerstände am Rotor anzubauen und mitrotieren zu lassen. Sowohl für die Steuerung als auch für den Antrieb der Schaltkontakte wurde die Zentrifugalkraft benutzt. Der Zentrifugalanlasser besteht demnach aus dem Stufenwiderstand und einigen Zentrifugalschaltern als Schaltelemente.

Wahrscheinlich die älteste feststellbare Konstruktion eines Zentrifugalanlassers ist angegeben im DRP 91135 von Siemens & Halske aus dem Jahre 1896. Dort sind allerdings keine Widerstände vorhanden, da der Motor nach der Schaltung von Goerges (DRP 82016 von 1894) auf dem Rotor zwei Wicklungen verschiedener Windungszahl aufwies, die zuerst einander entgegengeschaltet und durch den Zentrifugalschalter parallelgeschaltet, resp. kurzgeschlossen wurden. Die Zentrifugalschaltelemente bestanden aus einarmigen Hebeln, die von der Zentrifugalkraft entgegen dem Zuge einer Feder nach aussen gegen die festen Kontakte geschleudert wurden. Wichtig ist dabei, dass die Schaltung,

d. h. das Springen des Kontaktes, bei einer bestimmten Drehzahl plötzlich und unaufhaltsam erfolgt und dass das Zurückfallen beim Auslauf des Motors erst bei einer Drehzahl eintritt, die möglichst weit unterhalb der Springdrehzahl ist, damit man den betreffenden Motor bei Ueberlast möglichst nahe an die Kippgrenze ausnützen kann. Bei den ersten Zentrifugalschaltern waren diese Forderungen nicht restlos erfüllt, und so wurden 1902 von Schuckert & Co. nach DRP 133339 für die Feststellung der Drehzahl und die Kontaktbetätig-

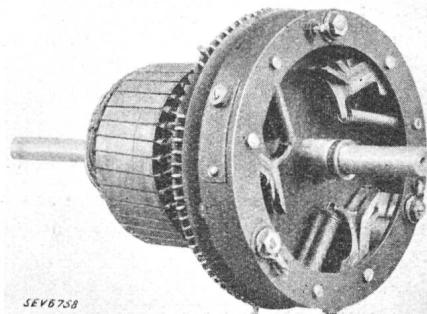


Fig. 1.
Bruncken-Rotor (1908).

gung getrennte Fliegewichte verwendet. Erst 1908 wurde das Problem konstruktiv richtig angepackt durch Johannes Bruncken in Köln¹⁾ (siehe Fig. 2).

Nach der bekannten Formel

$$F = m \cdot r \cdot \omega^2$$

wächst die Zentrifugalkraft F bei einer bestimmten Masse m und Winkelgeschwindigkeit ω proportional mit dem Radius r des Schwerpunktes der Masse m . Um ein präzises sprunghafte Schalten der Kontakte zu haben, muss daher dafür gesorgt werden, dass mit der Bewegung des Fliegewichtes nach aussen das Drehmoment der Gegenfeder nicht oder nur wenig zunimmt. Es wird dies dadurch er-

¹⁾ Der Selbstanlassmotor im Ziegeleibetrieb in Zeitschrift «Die schweiz. Tonwarenindustrie» vom 5. Jan. 1913.

reicht, dass man in Fig. 2 die Richtung der Federkraft 3 die Verbindungsgerade zwischen dem Schwerpunkt S und dem Drehpunkt P in einem spitzen Winkel α schneiden lässt. Der Angriffspunkt F_1 der Feder am Hebel 1 beschreibt einen Kreisbogen und beim Auftreffen des Kontaktes 4 auf die

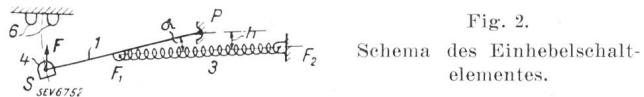


Fig. 2.
Schema des Einhebelschalt-elementes.

festen Gegenkontakte 6 ist der Winkel α und der Hebelarm h der Federkraft nur noch sehr klein; der Hebel 1 ist nahe der Totpunktlage. In der Totpunktlage selbst könnte er von der Feder nicht mehr herausgezogen werden. Man geht aber so nahe an die Totpunktlage heran, dass die Feder erst bei wesentlich tieferer Drehzahl den Kontaktthebel zurückkreissen kann. Durch die bewusste Anwendung des erläuterten Konstruktionsprinzipes erhält man schon einen ausserordentlich guten Zentrifugalanlasser.

Merkwürdigerweise konnte sich in einigen Ländern der Motor mit Zentrifugalanlasser trotzdem nicht durchsetzen; so findet man in der deutschen und amerikanischen Literatur fast keine Spuren von ihm. Sogar weitverbreitete Handbücher schweigen sich über ihn ganz aus. Einsteils wird dies auf die bestehenden Anschlussvorschriften bezüglich Stromstößen usw. zurückzuführen sein, die bei den dortigen starken Netzen offenbar weitherziger waren. In der Schweiz wurde der Motor mit Zentrifugalanlasser durch die Maschinenfabrik Oerlikon im Jahre 1913 eingeführt, mit der Konstruktion

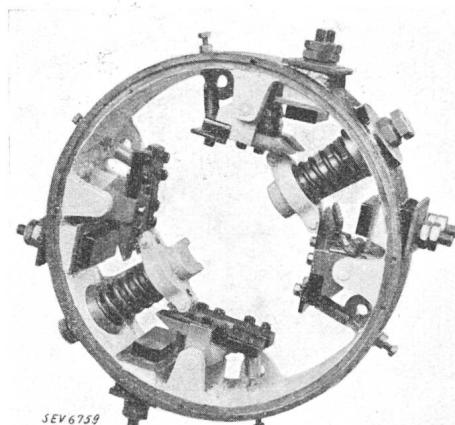


Fig. 3.
Oerlikon Zentrifugalanlasser 1913 für grosse Motoren.

nach Fig. 3 für grosse Motoren. Die kleinen Drehzahlen führten zur Verwendung einer vom Kontaktthebel getrennten, sich radial bewegenden Fliehmasse. Für die kleinen Motoren wurde 1914 eine andere Bauart²⁾ geschaffen, die in Fig. 4 dargestellt ist. Die Fliehmasse 8 bewegt sich ebenfalls radial und ist als Kontakt ausgebildet. Die tiefe Rückfall-drehzahl wird erreicht durch die Rast mit Bolzen

²⁾ Sachs: «Neue Bauformen des Drehstrominduktionsmotors», Bull. SEV 1923, S. 137.

12 und Feder 13. Mit diesem Zentrifugalschalter wurden mehrere tausend Motoren geliefert, von denen zahlreiche heute noch ihren Dienst versehen.

Die bisher erwähnten Konstruktionen von Zentrifugalanlassern besaßen Tastkontakte, d. h. Kontakte, deren Schliessbewegung im wesentlichen

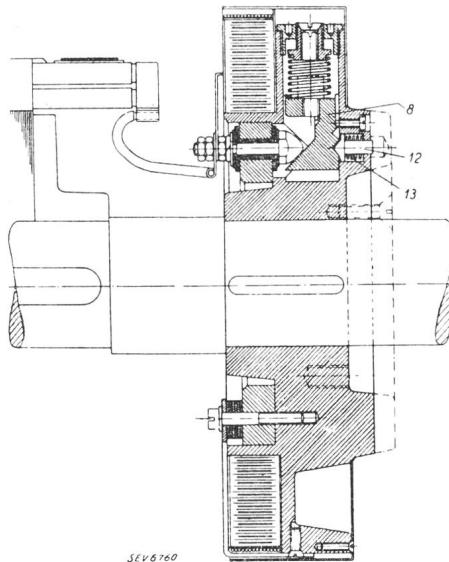


Fig. 4.
Oerlikon Zentrifugalanlasser 1914 für kleine Motoren.

senkrecht zur Kontaktfläche verläuft. Es wurden aber auch Lösungen mit Schleifkontakten versucht, bei denen die Bewegung im wesentlichen parallel zur Kontaktfläche vor sich geht³⁾. Der Hauptnachteil dieser Art des Kontaktchlusses ist die Gefahr des unvollständigen Schliessens und Oeffnens und gar des Steckenbleibens schon bei leichten Anbrennungen oder Perlenbildung an den Kontaktflächen. Auf diesem Wege lässt sich auch kein so präzises und sprunghaftes Schalten erreichen, so dass man allgemein nach weiteren Bauformen gesucht hat.

Im Jahre 1922 entwickelte die A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden⁴⁾, den Brunkenschen Zentrifugalschalter weiter und führte unter Anwendung des Satzes, dass eine Ebene durch drei Punkte bestimmt ist, den beweglichen Kontakt als runde Platte aus, die in ihrem Zentrum am Hebel lose befestigt ist und die auf die drei zu verbundenen festen Kontakte senkrecht aufschlägt. Die Platte kann sich um ihre Achse drehen, so dass alle die möglichen Kontaktstellen darauf sich auf einer konzentrischen Kreisringfläche verteilen, wodurch eine wesentlich längere Lebensdauer des beweglichen Kontaktes erhalten wird.

Im Jahre 1927⁵⁾ kam die Maschinenfabrik Oerlikon nach längeren Untersuchungen zu einer neuen Ausbildung des Schaltelementes für Zentrifugalanlasser, die bei gleichem Platzbedarf wesentlich höhere Ausgangsdrehmomente ergibt, so dass der Rückfall bei einer viel tieferen Drehzahl erfolgt. Die mit diesen Anlassern ausgerüsteten Motoren

³⁾ 1919 nach + Patent 83966 von Cuénod,
1921 Dunker-Anlasser in ETZ 1921, H. 39, S. 1103.

⁴⁾ + Patent 105789 und Bull. SEV 1923, S. 141.

⁵⁾ + Patent 125075.

sind also weit überlastbarer. Das Bauschema dieser Elemente ist in Fig. 5 dargestellt. Es sind zwei einarmige Hebel vorhanden, die scherenförmig von einer an den freien Enden angreifenden Feder zusammengezogen werden. Sie bilden für den beweglichen Kontakt eine Geradführung, so dass er sich

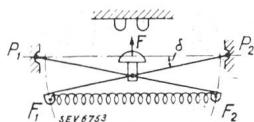


Fig. 5.
Schema des Scherenschaltelementes.

nur radial in der Richtung der Zentrifugalkraft F bewegen kann. Um einen mathematischen Vergleich der beiden Konstruktionen zu ermöglichen, müssen einige Voraussetzungen gemacht werden, die aber gegenüber der wirklichen Ausführung keine wesentlichen Änderungen bedeuten. So wurde im Diagramm Fig. 6 des Einhebelementes der Kontakthebel nur bis zum Angriffspunkt F_1 der Feder gezeichnet. Der Kontakt mit dem Schwerpunkt S kann in diesen Punkt F_1 verlegt gedacht werden. Außerdem wurde der Hebedrehpunkt P in die Mitte der Feder 3 verlegt. Beim Scheren-element Fig. 7 wurden die Hebellängen so gewählt, dass in der Totpunktage F_1 mit P_1 und F_2 mit P_2 zusammenfällt. Außerdem wurde vorausgesetzt, dass bei beiden Konstruktionen die Hebel sich von der Ausgangsstellung bis zur Totpunktage um denselben Winkel δ drehen und dass dabei das bewegliche Kontaktstück denselben Weg d macht. Es kann daher die Zentrifugalkraft, die bei gleichem Kontaktdruck in der Endlage denselben Wert haben muss, ausser Betracht gelassen werden. Wie nahe man bei diesen zwei Konstruktionen an die Totpunktage herangehen kann, hängt von der Genauigkeit der Ausführung und der vorhandenen Reibung ab, da selbstverständlich der Kontakt bei Ruhe zurückspringen muss. Es wurde dies deshalb auch nicht berücksichtigt und die Bewegung bis zum Totpunkt angenommen. Die Strecke h , resp. h' , ist der Hebelarm, mit dem die Feder den Kontakthebel um den Punkt P , bzw. P_1 und P_2 dreht. Da die Federlänge $F_1 F_2 = a$ ein Mass für die Zugkraft der Feder ist, wurde als Drehmoment das Produkt $h \cdot a$ mal eine Konstante k betrachtet und einfacheitshalber $k = 1$ gesetzt.

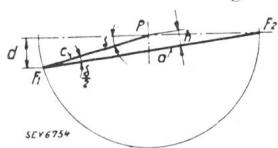


Fig. 6.
Einhebelelement (mit
Hebellänge c).

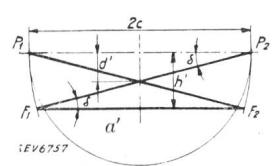


Fig. 7.
Scherensystem
mit Hebellänge $2c$.

$$d' = d$$

$$h = c \cdot \sin \frac{\delta}{2}$$

$$a = 2c \cdot \cos \frac{\delta}{2}$$

$$s = \frac{2c}{a} \text{ Streckungsverhältnis } s' = \frac{2c}{a'}$$

Ausgangsdrehmoment

$$M_0 = h \cdot a = 2c^2 \sin \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} \quad M'_0 = h' a' = 4c^2 \sin \delta (2 \cos \delta - 1) \\ = 8c^2 \sin \delta \cos \delta - 4c^2 \sin \delta$$

$$M_0 = c^2 \sin \delta \quad M'_0 = 4c^2 (\sin 2\delta - \sin \delta)$$

$$\frac{M'_0}{M_0} = \frac{4(\sin 2\delta - \sin \delta)}{\sin \delta} = 8 \cos \delta - 4.$$

Zahlenbeispiel.

$$\delta = 15^\circ \quad \sin \delta = 0,259; \quad \sin \frac{\delta}{2} = 0,13$$

$$\frac{\delta}{2} = 7,5^\circ \quad \cos \delta = 0,966; \quad \cos \frac{\delta}{2} = 0,991$$

$$h = c \cdot 0,13 \quad h' = c \cdot 0,518$$

$$\frac{h'}{h} = \sim 4$$

$$a = c \cdot 1,982 \quad a' = c \cdot 1,866$$

$$s = 1,01 \quad s' = 1,07$$

$$\frac{s'}{s} = 1,063$$

$$M_0 = h \cdot a = c^2 \cdot 0,258 \quad M'_0 = c^2 \cdot 0,968$$

$$\frac{M'_0}{M_0} = 3,75$$

Als Streckungsverhältnis wurde das Verhältnis der gestreckten Feder im Totpunkt zur Länge a , bzw. a' der Feder in der Ausgangslage bezeichnet. Die errechneten Größen wurden unter die entsprechenden Figuren gesetzt. In die ermittelten Formeln wurde beispielsweise für den Winkel δ der Wert 15° eingesetzt, der in der Größenordnung mit den bei diesen Konstruktionen vorkommenden Winkel aus-

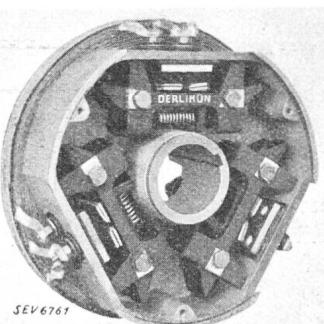


Fig. 8.
Oerlikon Zentrifugalanlasser 1927 mit Scheren-schaltelementen.

schlägen übereinstimmt. Man sieht, dass trotz der nur 6 % grösseren Streckung der Feder das Scheren-element ein 3,75mal höheres Ausgangsdrehmoment M'_0 als das Einhebelement gibt. Es röhrt davon her, dass sich gleichzeitig beide Federendpunkte F_1 und F_2 bewegen, so dass der Hebelarm h' viermal grösser wird als beim Einhebelement. Fig. 8 zeigt die Ausführung des Scheren-schaltelementes, die sich an vielen Tausenden von Motoren bewährt hat. Der bewegliche Kontakt bestand aus zwei an Blattfedern befestigten rechteckigen Platten, die auf drei feste Gegenkontakte aufschlagen, wovon der eine Kontakt mit beiden beweglichen Platten in Berührung kam. Durch das Ausbiegen der Federn beim Kontaktchluss erfolgt eine gleitende, die Kontaktfläche reinigende Bewegung.

In Frankreich scheint um das Jahr 1926 herum der Motor mit Zentrifugalanlasser wieder an Bedeutung gewonnen zu haben, und zwar für die ländliche Elektrifizierung, d. h. speziell für landwirtschaftliche Zwecke. Die Firma Legendre frères⁶⁾

⁶⁾ Revue Gén. Electr. vom 8. Mai 1926, p. 727.

nahm den Goerges-Motor wieder auf und rüstete ihn mit einem neuen Anlasser aus (Fig. 9). Die Kontakte *P* werden unter dem Einfluss der Zentrifugalkraft radial gegen die festen Kontakte *AB*, resp. *CD* geschleudert, und zwar die Brücke mit der grösseren Fliehmasse *F* vor der andern mit der Masse *E*. Die Gegenfedern *S* sind bogenförmig frei gespannt. Bei dieser Ausführung arbeitet jeder Teil der Feder mit einem andern Hebelarm, der vom günstigsten bis zum ungünstigsten Wert variiert. Ein zahlenmässiger Vergleich mit andern Konstruktionen ist daher und auch wegen der möglichen grösseren Reibung erschwert.

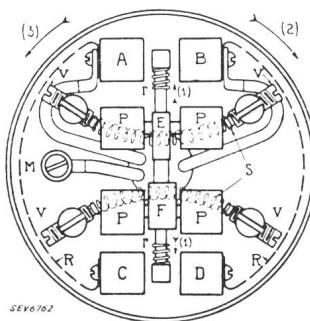


Fig. 9.
Zentrifugalanlasser
Legende 1926.

erwähnten Bauart mit Schleifringen und separatem Anlasser an. Dieser bestand aus parallel geschalteten Widerständen und Induktivitäten ohne jede Stufung. Mit zunehmender Drehzahl und abnehmender Frequenz des Rotorkreises nimmt der Rotorstrom seinen Weg mehr durch die Induktivitäten mit niedrigerem ohmschem Widerstand. Zentrifugalschalter wirken erst beim Abschluss des Anlaufes mit und schliessen die Schleifringe kurz. Sie sind als einfache einarmige Hebel gebaut und scheinen zur Vergrösserung der Differenz zwischen Springdrehzahl und Rückfalldrehzahl keine weiteren Vorkehrungen aufzuweisen. Ein zweiter, von der Firma Roulland⁸⁾ entwickelter Motor mit

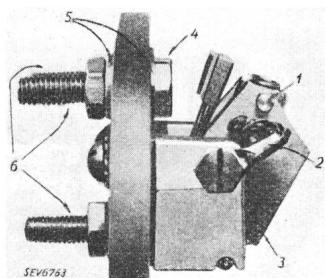


Fig. 10.

Schaltelelement des Zentrifugalanlassers Roulland 1935.
1 Knopf zum Regulieren der Federspannung.
2 Verbindungskabel.
3 Zentrifugalgewicht.
4 Kontaktstück.
5 Isolation aus Mica.
6 Anschlüsse der Widerstände.

Zentrifugalanlasser und rotierenden Anlasswiderständen weist Schaltelemente der alten Einhebelbauart auf. Die Kontaktplatten sind durch Blattfedern mit der Fliehmasse verbunden, so dass ebenfalls bei Kontaktenschluss eine gewisse gleitende, die Kontaktflächen reinigende Bewegung zustande kommt. Ein etwas heikler Punkt im Dauerbetrieb wird u. E. der flexible Kabelanschluss 2 zwischen dem Gehäuse und den beweglichen Kontakten sein, der den etwas unbestimmten Stromschluss über die

⁷⁾ Revue Gén. Electr. vom 11. Mai 1935, p. 603, Fig. 5.

⁸⁾ Rev. Gén. Electr. vom 11. Mai 1935, S. 604.

Hebellagerung shunten muss. Die Widerstände sind äusserst sorgfältig entworfen und auf Steatitträgern montiert, die gleichzeitig die Rolle von Ventilatorflügeln übernehmen. Neu ist der Einbau von Sicherungen im Kreise der Anlasswiderstände, um diese bei Verhinderung des Anlaufes durch eine äusserre mechanische Ursache zu schützen.

Bei allen Anlassverfahren mit Widerständen sind diese nämlich bei unvollständigem Anlauf oder bei kleinen Anlaufströmen schon beim Anreissen aus der Ruhe gefährdet, da der Motorschalter mit Sicherungen oder thermischem Auslöser wegen der zuzulassenden Ueberlastungsmöglichkeit nicht frühzeitig genug abschalten kann. Schon im Jahre 1921⁹⁾ entwickelte die Maschinenfabrik Oerlikon speziell für vollautomatische Pumpenanlagen eine Schutzschaltung, bei welcher der Ablauf des Anlassvorganges durch ein Zeitrelais und einen Zentrifugalschalter überwacht wurde. Dauert der Anlauf infolge einer Störung länger als die am Relais eingestellte Zeit, so wird der Motorschalter ausgelöst. Wenn alles richtig vor sich geht, wird das Relais durch den Zentrifugalschalter unwirksam gemacht.

Die Füllung des völlig gekapselten Zentrifugalanlassers mit Öl, die auch schon propagiert wurde, erscheint, abgesehen von den Schwierigkeiten der Abdichtung, speziell im Hinblick auf die Ueberlast der Widerstände bei gestörtem Anlauf, als etwas bedenklich. Solche Motoren bedürfen in vermehrtem Masse eines speziellen Schutzes.

Der neue Zentrifugalanlasser mit Kugelkontakte.

Im Bestreben, die Automatik zu vereinfachen, entwickelte die Maschinenfabrik Oerlikon im Jahre 1936 einen neuen Motor¹⁰⁾, der zwei Rotorwicklungen besitzt, wovon die eine fest kurzgeschlossen ist und zum Anreissen aus der Ruhe dient, und die andere bei einer höheren Drehzahl über Widerstände zugeschaltet wird. Bei diesem Combi-Motor¹¹⁾ müssen die Zentrifugalschaltelemente so eingestellt sein, dass dasjenige, welches beim Anlauf als erstes arbeitet und die Wicklung mit Anlasswiderstand einschaltet, beim Auslauf des Motors auch zuerst ausschaltet. Damit ist die Gewähr gegeben, dass bei im Betriebe erfolgenden Schwankungen der Spannung oder der Frequenz oder bei Unterbrechung einer Phase und daraus resultierendem Drehzahlabfall des Motors die Anlasswiderstände überhaupt nicht mehr eingeschaltet werden. Um diesen Forderungen zu genügen, musste ein Zentrifugalschaltelement gefunden werden, das ein noch höheres Ausgangsdrehmoment hat als das des Scherenelementes, das weniger Reibung aufweist und präziser und in einem viel grösseren Bereich einstellbar ist als dieses. Weitere Untersuchungen führten zum eigentlichen Kniehebelement, dessen Schema in

⁹⁾ Druckschrift Oerlikon 737, vom Jahre 1922.

¹⁰⁾ DRP 645120.

¹¹⁾ Ueber die Eigenschaften dieses neuen Motors wird ein spezieller Aufsatz erscheinen. Der Autor berichtet hier nur über die ihm und seinen Mitarbeitern gestellte Aufgabe der Schaffung eines neuen Zentrifugalschaltelementes.

Fig. 11 angegeben ist. Wenn der einarmige Kontakt-hebel $P_1 P_2$ unter der Zentrifugalkraft F sich um den Winkel δ bewegt, so wird die Feder $F_1 F_2$ zusammengepresst und erzeugt ein Gegendrehmoment um den Drehpunkt P_2 mit dem Hebelarm h . Bei

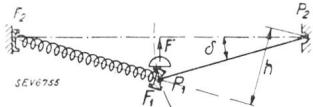


Fig. 11.
Schema des Kniehebelelementes Oerlikon 1936.

gleicher Federkraft wird dieses Drehmoment bedeutend grösser als das des Einhebelelementes nach Fig. 2. Gegenüber dem Scherenelement Fig. 5 weist es schon theoretisch ein höheres Ausgangsdrehmoment auf. In der praktischen Ausführung wird der Unterschied nochmals zugunsten des Kniehebelementes grösser, da es bedeutend weniger Reibung aufweist. In Fig. 12 wird es ebenfalls dem Einhebelelement Fig. 6 gegenübergestellt. Es gelten wieder dieselben Voraussetzungen; nur ist zu bemerken, dass beim Kniehebel die Feder $F_1 F_2$ im zusammengedrückten Zustand dieselbe Federkraft entwickeln muss wie die Feder in Fig. 6, obgleich sie nur die halbe Länge hat. Es muss daher bei der Berechnung des Drehmomentes die Länge a'' mit dem Maßstab 2 multipliziert werden, um den korrekten Vergleich zu erlauben.

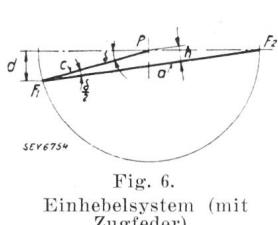


Fig. 6.
Einhebelelement (mit
Zugfeder).

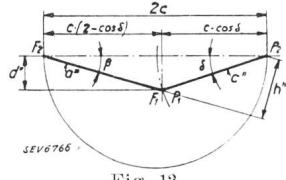


Fig. 12.
Kniehebelelement (mit
Druckfeder).

$$d'' = d$$

$$h = c \cdot \sin \frac{\delta}{2}$$

$$h'' = 2c \cdot \sin \beta = 2c \cdot \frac{d''}{a''}$$

$$d = d'' = c \cdot \sin \delta$$

$$a = 2c \cdot \cos \frac{\delta}{2}$$

$$a'' = \sqrt{d'^2 + c^2(2 - \cos \delta)^2} = \sqrt{c^2 \sin^2 \delta + c^2(2 - \cos \delta)^2}$$

$$a'' = c \sqrt{\sin^2 \delta + 4 - 4 \cdot \cos \delta + \cos^2 \delta} = c \sqrt{5 - 4 \cdot \cos \delta}$$

$$a'' = 2c \sqrt{1,25 - \cos \delta}$$

$$s = \frac{a}{2c}$$

$$s'' = \frac{a''}{c}$$

a und a'' repräsentieren gleich starke Federn, also muss rechts die Strecke a'' mit dem Maßstab 2 multipliziert werden.

$$M_0 = h \cdot a = 2c^2 \sin \frac{\delta}{2} \cos \frac{\delta}{2} \quad M_0'' = h'' \cdot 2a'' = \frac{2cd''}{a''} \cdot 2a'' = 4cd''$$

$$M_0 = c^2 \cdot \sin \delta$$

$$M_0'' = 4c^2 \sin \delta$$

$$\frac{M_0''}{M_0} = 4 \text{ unabhängig vom Winkel } \delta.$$

Die grossen Schaltzahlen, denen ein Zentrifugal-anlasser standhalten muss, stellen an die Kontakte ausserordentliche Anforderungen. Um diesen zu genügen, wurde als Kontaktstück eine frei in einem Korb bewegliche Kugel¹²⁾ gewählt. Dieser Kontakt

hat gegenüber jeder andern Kontaktform die zwei grossen Vorteile der *Selbstzentrierung* und der *Anteilnahme der absolut ganzen Oberfläche* an die *Kontaktbildung*. In Fig. 13a ist der Moment dargestellt, wo die durch die Zentrifugalkraft beschleu-

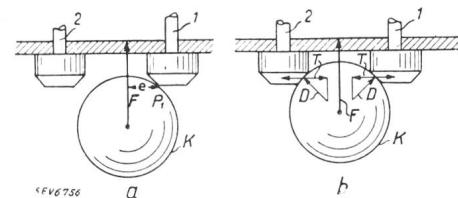


Fig. 13.
Selbstzentrierung des Kugelkontakte.

nigte Kugel K sich etwas neben dem durch das Zentrum der drei festen Kontakte 1-2-3 (davon nur zwei gezeichnet) gehenden Radius bewegt und daher nur auf den Gegenkontakt 1 aufschlägt. Das sich dabei mit dem Hebel e bildende Drehmoment dreht die Kugel sofort um den Punkt P_1 und bringt sie zur Berührung wenigstens eines zweiten Kontaktes. Nachher erfolgt eine Drehung um eine Gerade, die durch die zwei ersten Berührungsstellen geht, und die Kugel nimmt die endgültige Lage ein entsprechend Fig. 13 b. Die Kontaktdrücke D erzeugen 3 gegen das Zentrum der drei festen Kon-



Fig. 14.
Schalthebel mit
Kugelkontakt.

takte gerichteten Komponenten T , die die Kugel in der zentrischen Lage festhalten, auch bei sehr starken Bremsverzögerungen des Motors. Die beschriebenen Drehbewegungen der Kontaktkugel zuerst um einen Punkt, hernach um eine Gerade, bewirken ein bei jeder Schaltbewegung automatisch vor sich gehendes Abrollen, derart, dass jeder Punkt der Oberfläche einmal als Kontaktspur dienen muss. Die Folge ist eine völlig gleichmässige Abnutzung

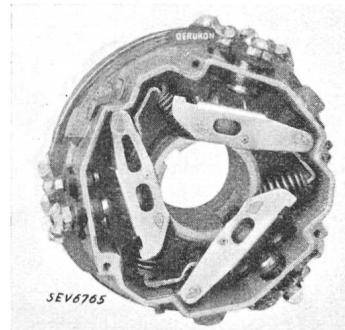


Fig. 15.
Oerlikon Zentrifugal-
anlasser 1936.

der Kugeloberfläche und die Verhinderung von lokalen Verbrennungen. Die Kugel liegt frei wie in einem Korbe im Schalthebel, der aus gestanztem Blech gebogen wird. Alle drei Drehpunkte, bzw.

¹²⁾ + Patente 183541, 191315, DRP 654322 und andere.

Drehachsen des Kniehebels bestehen aus gehärteten Stahlschneiden. Die am Anlassergehäuse befestigte Schneide, auf welcher die Druckfeder ruht, kann durch eine Stellschraube zur Einstellung der Rückfalldrehzahl verstellt werden. Das neue Kniehebelement wiegt nur noch 70 % des Scheren-elementes; das Gewicht des ganzen Anlassers konnte durch die besondere Bewicklung des Combi-Motors sogar auf 55 % reduziert werden.

Diese Ergebnisse geben ein typisches Beispiel dafür, wie sich durch systematische Versuche und Untersuchungen auch bei kleinen Teilproblemen unserer Elektroindustrie wesentliche Verbesserungen erzielen lassen. Das beschriebene Zentrifugalschaltelement ist zu einem neuen zuverlässigen Maschinen- und Apparate-Element geworden, welches zweifellos noch zahlreiche andere Anwendungen finden wird.

Ueber die neueste Entwicklung der Physik.

Werbeaktion für das Cyclotron.

Am 5. Februar 1938 hielt Professor Dr. P. Scherrer einen Experimentalvortrag über das obige Thema, der am 16. Februar wiederholt werden musste. Dieser Vortrag war gedacht als Einleitung für eine Werbeaktion, deren Initianten sich zum Ziel die Anschaffung eines **Cyclotrons**, dieses modernsten und leistungsfähigsten Hilfsmittels der heutigen Atomforschung, gesetzt haben.

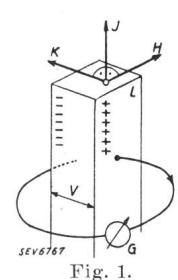
Einleitend dankte der Referent der zahlreichen, den grossen Hörsaal des physikalischen Instituts beidemal bis auf den letzten Platz füllenden Zuhörerschaft für das Interesse, welches die Einladung des Aktionskomitees bei ihr gefunden hatte. Dann begann er mit einer umfassenden Darstellung der allgemeinen Situation, in welcher sich die heutige physikalische Forschung befindet, vom schon Erforschten, zum Teil bereits technisch nutzbar gemachten, vordringend bis zu den modernsten, noch ungelösten Problemen des Kernbaus. Im folgenden geben wir die meisterhaft vorgetragenen, von zahlreichen Experimenten belegten Ausführungen wieder.

Die heutige physikalische Forschung geht in einem enormen Tempo vor sich. Eine Entdeckung folgt der andern, latente Möglichkeiten technischer Nutzanwendungen in sich bergend. Die Technik kommt mit der Verarbeitung der Probleme, welche ihr die Physik zuspielt, kaum nach. Zu fragen, warum der Physiker nicht selbst die technische Auswertung an die Hand nimmt, hiesse seinen Standpunkt verkennen. Es ist kein Zufall, dass nicht ein Akustiker wie Rayleigh das Grammophon erfunden hat, sondern ein Autodidakt und Bastler wie Edison, dass nicht Heinrich Hertz, der experimentelle Entdecker der elektrischen Wellen, die drahtlose Telegraphie begründete, sondern der Ingenieur Marconi. Der Physiker beschäftigt sich nicht mit der Technik; hat er in einer Erscheinung das Naturgesetzliche erkannt, so verlässt er dieses Problem und wendet sich einem neuen zu. Um nun einen Querschnitt durch die heutige Physik zu geben, nimmt man zweckmässig eine Unterteilung der Gesamtheit der Erscheinungen in zwei Gruppen vor, nämlich in die der Kollektivphänomene und diejenige der Einzelerscheinungen. Kollektivphänomene kommen zustande durch das Zusammenwirken einer grossen Zahl von atomaren Gebilden. Zu den Einzelerscheinungen hingegen gehört das heute in voller Entwicklung begriffene Feld der Atomumwandlungen.

Der Stand der Forschung auf dem Gebiet der *Kollektivphänomene* möge an einigen typischen Beispielen illustriert werden. Das bekannteste und wichtigste ist wohl das des elektrischen Stromes. Das Auftreten eines elektrischen Stromes ist stets gebunden an das Vorhandensein von elektrischen Ladungen, welche in einer bestimmten Richtung wandern. Im Metall wird der Ladungstransport durch die im Metallgitter frei beweglichen Elektronen aufrechterhalten. Die Existenz dieser Leitungselektronen kann durch den sogenannten Hall-Effekt (Fig. 1) nachgewiesen werden. Ein stromführender Leiter wird in ein homogenes Magnetfeld H gebracht, dessen Kraftlinien senkrecht zur Richtung des Stromflusses I stehen. Die vom Magnetfeld auf ein Elektron ausgeübte Kraft (Lorentz-Kraft) ist sowohl zur Stromrichtung als auch zum Magnetfeld senkrecht gerichtet. Unter ihrem Einfluss müssen sich also die Elektronen aus der ursprünglichen Stromrichtung heraus und gegen den einen Rand des Leiters bewegen. Die dadurch bewirkte Elektronenanhäufung an der einen, bzw. Verminderung an der andern Seitenfläche des Leiters gibt Anlass zu einer Potentialdifferenz U zwischen diesen bei-

den Flächen. Verbindet man also diese mit den Polen eines Galvanometers G , so fliesst ein Strom durch das Instrument.

Zwei weitere auf der Existenz freier Leitungselektronen beruhende und für die Technik hochbedeutsam gewordene Phänomene betreffen die Auslösung von Elektronen aus einem Metall durch Energieübertragung auf dieselben. Die Energie kann in Form von Wärme zugeführt werden: ein glühender Draht verdampft, wie man sagt, Elektronen (denn dieser Prozess hat sein Analogon zum Verdampfen in der Gaskinetik). Diese Erscheinung ist zur Grundlage der gesamten Röhrentechnik geworden. Doch auch Licht vermag Elektronen aus gewissen Metallen auszulösen, indem die elektrische Energie der Lichtwelle in kinetische des Elektrons umgewandelt wird. Der hierauf beruhende sogenannte lichtelektrische Effekt hat in der Technik der Photozellen seine Verwendung gefunden.

Fig. 1.


Dass auch in einem normalerweise nicht leitenden Kristall ein Strom fliessen kann, wenn man Elektronen hineinbringt, zeigt folgender Versuch: Ein Kaliumchlorid-Kristall wird zwischen einer Platte und einer Spalte aus Metall eingespannt. Wird die Spalte erhitzt, so dass es zur Glühemission von Elektronen kommt, und Spalte und Platte mit den Polen einer Batterie verbunden, so dringt von der Spalte aus eine Elektronenwolke in den Kristall hinein, die man an ihrer intensiv blauen Färbung erkennt.

Ein weiteres allgemein bekanntes Kollektivphänomen ist der Ferromagnetismus. Schon weniger bekannt hingegen ist das elektrische Analogon dazu, nämlich die Seignette-Elektrizität. Das Seignettesalz, ein Alkalosalz der Weinsäure, ist gegenüber andern Dielektrika durch eine enorm hohe Dielektrizitätskonstante von der Grössenordnung 10^5 ausgezeichnet, in Analogie zur abnormalen Permeabilität der Ferromagnete. Dementsprechend treten bei jenem die gleichen Erscheinungen auf elektrischem Gebiete auf, wie bei diesem auf magnetischem. Das Seignettesalz besitzt also auch eine Hysteresekurve, einen Curiepunkt (der hier allerdings sehr tief, bei 24°C liegt) und ist piezoelektrisch (in Analogie zur Magnetostriktion). Ein Experiment von elegantester Einfachheit zeigte die technische Verwendungsmöglichkeit der Piezoelektrizität: ein kleiner, modulierter Schwingkristall als Schallstrahler und eine Tischschublade als Resonanzboden arbeiten ganz befriedigend als Lautsprecher.

Als Einführung in das Gebiet der Atom- oder, präziser ausgedrückt, Atomkernumwandlungen erscheint es uns zweckmässig, kurz die wichtigsten Tatsachen über den Bau der Atomhülle zusammenzustellen. Diese ist dem Physiker heute sehr genau bekannt. Sie besteht aus den negativ geladenen Elektronen, welche sich auf periodischen Bahnen um den positiven Kern als Zentralkörper bewegen. Die Summe aus der Hülle- und der Kernladung ist bei dem im Normalzustand befindlichen Atom gleich Null; es erscheint also nach aussen neutral. Die räumliche Anordnung der Bahnen um den Kern ist nicht stetig variabel, sondern in ganz bestimmtem, sich nur in diskreter Weise änderndem Verlauf geregelt (quantisiert). Künstliche Eingriffe in die Hülle gehen mit relativ geringem Energieaufwand vonstatten; bei den leichten