

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 107/108 (1936)
Heft: 25

Artikel: Rohrbruchsicherungen
Autor: Schnyder, O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-48318>

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: 03.02.2026

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

bei 150 at 60 000 m³ unverdichtetes Gas aufnehmen können. Ausserdem bestehen Speicher- und Abfüllanlagen für Treibgas (Propan + Wasserstoff für «Graf Zeppelin»), Benzin, Ballastwasser, Trinkwasser, Schmieröl, Druckluft und Dieselöl, die ein Nachfüllen des Luftschiffes in 4 h gestatten. Das Propan wird in Flaschen aus Deutschland bezogen. Daneben bestehen Gebäude für Unterkunft und Besatzung, Werkstätten, Zollgebäude usw. Die Eröffnung des Hafens soll dieses Frühjahr erfolgen.

Der Luftschiffhafen Rhein-Main (Abb. 1), an dem seit Sommer 1935 gebaut wird, ist meteorologisch und wegen seiner tiefen Lage physikalisch günstig. Seine Ausrüstung ist im wesentlichen die selbe, wie die oben geschilderte von Rio de Janeiro.

Verschiedene Landeanlagen. Eine Ankermastanlage in Sevilla dient als Notlandeplatz für den Südamerikadienst des «Graf Zeppelin». Sie ist mit Lager und Abfülleinrichtungen für Traggas und Brennstoff versehen. Der Heckrundlaufwagen rollt auf Gummireifen. — Seit 1928 besteht auch in Berlin eine Ankermastanlage mit Heckrundlauf auf Schienen und Nachfüllanlage für Wasserstoff. Ausser den bisherigen Bauhallen auf dem Werftgelände wird in Löwenthal bei Friedrichshafen eine Luftschiffhalle errichtet samt Lande- und Einfahranlagen, die als Ausweich- und Reparaturplatz dient.

Rohrbruchsicherungen.

Von Dr. Ing. O. SCHNYDER, Klüs.

Obschon die heutige Technik des Leitungsbaues über Kenntnisse und Mittel verfügt, um die Gefahr eines Rohrbruches weitgehend zu vermindern, so ist bei deren Anwendung doch mit menschlicher Unzulänglichkeit, wie auch mit unvorhersehbaren Naturgewalten wie Steinschlägen, Geländerutschungen und Unterspülungen der Rohrstützpunkte zu rechnen. Daher denkt man heute trotz des grossen Fortschrittes im Leitungsbau nicht daran, auf Rohrbruchsicherungen zu verzichten, sondern sucht im Gegenteil auch diese auf einen möglichst hohen Grad von Vollkommenheit zu bringen. Ihr Zweck ist, die möglicherweise aus einer Leckstelle austretende Wassermenge klein zu halten und die Zerstörungen des Geländes durch das Wasser auf ein Mindestmass zu beschränken. Durch Verengen des Rohreinlaufes oder Anordnung eines Saughebers kann man bereits in diesem Sinn wirken. Der zulässige Druckverlust und die unstationären Strömungsvorgänge erlauben aber nur in wenigen Fällen, diese Mittel befriedigend anzuwenden.

Die Bruchsicherung wird daher heute fast ausschliesslich durch besondere Rohrverschlüsse erzielt, die beim Einreten bestimmter, auf einen Rohrbruch deutender Umstände die Leitung selbsttätig schliessen. Lange Zeit konstruierte man sie so, dass beim Ueberschreiten der grössten durch den Betrieb benötigten Wassermenge um einen gewissen Betrag ΔQ der Selbstschluss eintritt. Bei geringerem Wasserverbrauch vergrössert sich aber die zum Selbstschluss nötige Leckmenge gemäss Abb. 1; es muss dann schon ein bedeutender Bruch auftreten, um den Abschluss zu erreichen. Da aber eher mit kleinen als mit grossen Brüchen zu rechnen ist, hat eine solche Rohrbruchsicherung nur beschränkten Wert. Sie muss durch die Wachsamkeit des Bedienungspersonals und die Möglichkeit ergänzt werden,

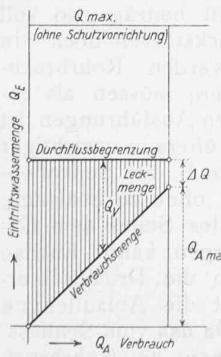


Abb. 1.

Darstellung der Leckmengen bei Maximal-, Drossel- und Differential-Schutzvorrichtungen an einer Leitung.

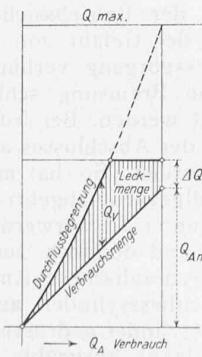


Abb. 2.

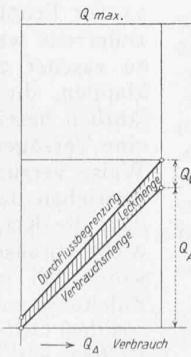


Abb. 3.

auch von Hand den Abschluss einzuleiten, z. B. durch elektrische Druckknopfsteuerung oder Kurbelinduktoren. Wo das Rohrgelände gut übersichtlich und bei Nacht beleuchtet ist, können, wenn eine Wartung besteht, diese Vorsichtsmassnahmen befriedigen. Bei bedienunglosen Wasserkraft- oder Pumpwerken, aber auch bei vielen andern nicht überwachten Rohrleitungen lässt sich die gewünschte Sicherheit aber nur durch andere Steuerung der Rohrverschlüsse erreichen.

Man hat hiezu in neuerer Zeit verschiedene Wege beschritten. So wird z. B. der Rohrverschluss je nach dem Wasserkonsum mehr oder weniger stark geschlossen, Abb. 2. Die Drosselung erfolgt in der Regel selbsttätig durch elektrische Hilfsgeräte, die in Abhängigkeit eines Wasser- oder Wattmeters stehen. Sie darf aber des Druckverlustes wegen nicht zu weit getrieben werden. Anstatt ein Absperrorgan teilweise zu schliessen, könnte man auch eine hydraulische Auslösung je nach der Belastung der Leitung einstellen. Konstruktiv ist aber dafür zu sorgen, dass diese Regulierung rascher als die Auslösung des Apparates erfolgt. Neben einer solchen Einrichtung wird die übliche Maximal-Auslösung beibehalten.

Noch mehr Schutz bietet das Messen der in einer Leitung ein- und austretenden Wassermenge mit Registrieraffinaten, Abb. 3. Zu grosse, auf einen Rohrbruch weisende Abweichungen der Angaben im Wasserdurchfluss rufen mittels elektrischer Hilfsinstrumente den Abschluss der Leitung hervor.¹⁾ Diese Schutzeinrichtung erfordert eine genaue Prüfung der Geschwindigkeitschwankungen, wie sie etwa bei plötzlicher Belastung einer Leitung auf grossen

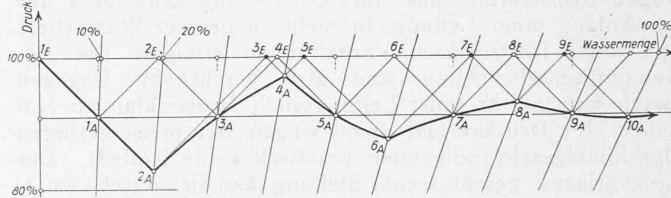


Abb. 4a. Druck-Geschwindigkeits-Diagramm einer Leitung bei zeitlich linearem Öffnen des Auslaufs.

Die Punkte 1E, 2E, ..., 10E bezeichnen die in der Laufzeit T_L aufeinander folgenden Zustände am Aus- und Eintritt der Leitung.

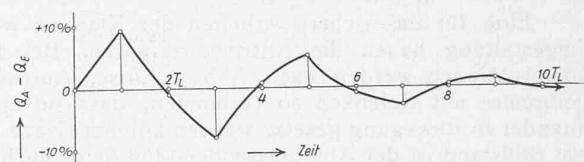
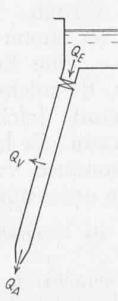


Abb. 4b. Durchflusschwankung zwischen Aus- und Eintritt der Leitung bei linearem Öffnen des Auslaufs.

Hierin bedeutet $T_L = \frac{L}{a}$ die Laufzeit einer Druckstörung durch die Leitung.

Durchfluss infolge der Elastizität der Rohrwandung und des Wassers auftreten können. Ein Druck-Geschwindigkeits-Diagramm für die wichtigsten nicht stationären Strömungsvorgänge kann darüber die nötige Auskunft geben, wie der Differentialschutz eingestellt werden muss, damit er nicht im unerwünschten Fall in Tätigkeit tritt. Ueber die Grössenordnung der Geschwindigkeitsabweichungen am Ein- und Austritt unterrichtet Abb. 4, die auf zeitlich lineares Öffnen einer Leitung Bezug nimmt.



¹⁾ Man lese hierüber den Aufsatz von G. Egger: „Rohrbruchsicherungen“ in der Wochenschrift „Das Gas- und Wasserfach“, Heft 31, 1931.

Kalk oder andere Stoffe ausgefüllt, und es treten sehr bald Kohäsionskräfte auf, die einen starken Bewegungswiderstand bilden. Dagegen werden nach jeder Betätigung die Teile durch das Wasser geschmiert, und wenn sich auch damit in den Lagern keine vollständige Flüssigkeitsreibung erzielen lässt, so fällt der Bewegungswiderstand doch wesentlich unter den der trockenen oder halbtrockenen Reibung.

Bei Keilschiebern wurden im neuen Zustand, wo noch Fettspuren an den Dichtungsringen anhaften, Reibungszahlen von 0,02 bis 0,03 festgestellt. Der Wasserdruk auf die Kolbenstange genügte, um den Keil bei entleerten Servomotoren und bei vollem einseitigem Leitungsdruk zu heben (Beobachtungen in den Kraftwerken Handegg und Küblis). Demgegenüber zeigen alle alten Schieber mit rauh gewordenen Dichtungen und inkrustierten Kolbenstangen Reibungszahlen bis zu 0,5. Versuche an Kolben-Ventilen, die zur Steuerung dienen, oder an andern Absperrventilen zeigten ähnliche Merkmale. Bei jeder Betätigung tritt eine Schmierung der Gleitflächen auf, die für kurze Zeit den Bewegungswiderstand stark herabsetzt. Bei längerem Stillstand wächst dagegen der Widerstand durch Kohäsionskräfte weit über das Mass, das sich auf Grund der trockenen Reibung erwarten liesse.

Diese Beobachtungen müssen bei der Konstruktion selbsttätiger Rohrverschlüsse in richtiger Weise berücksichtigt werden. Demzufolge müssen Organe beigezogen werden, deren Gleitflächen möglichst ausserhalb des Wassers liegen und überhaupt wenig Reibungsstellen aufweisen. Diese Bedingungen erfüllen Fall- und Drosselklappen. Die erste Bauart zeichnet sich durch ihre Einfachheit und geringen Druckverlust aus. Ihre Aufstellung kann aber nur am Anfang einer Leitung, in nicht zu grosser Wassertiefe und unter frostsicheren Verhältnissen erfolgen. Die Anwendungsmöglichkeiten sind also beschränkt. Dagegen lassen sich fast an jeder Leistungsstelle Drosselklappen einbauen. Ihr Druckverlust spielt wegen der meist geringen Durchflusgeschwindigkeiten praktisch keine Rolle²⁾. Der Leckverlust in geschlossener Stellung lässt sich durch zweckmässige Konstruktion und genaue Bearbeitung stark herabsetzen. Die Drehzapfen werden heute gegen Eindringen von Sand oder schlammhaltigem Wasser geschützt und der Schmierung zugänglich gemacht.

Eine für das sichere Arbeiten der Klappen wichtige Umgestaltung haben die Antriebe erfahren. Bei älteren Konstruktionen werden nach Abb. 5 Linse, Antrieb und Oelbremse mit Gelenken so verbunden, dass sie nur miteinander in Bewegung gesetzt werden können. Nach längerem Stillstand ist der Abschlusswiderstand dann auch ziemlich hoch. Diesen Nachteil hat der Antrieb nach Abb. 6 nicht mehr. Beim Einleiten der Schliessbewegung durch Lösen einer Klinke F kommt zuerst das Fallgewicht C, dann der Drehhebel J der Linse und zuletzt der Brems-Kolben H in Bewegung. Durch den freien Hub des Schliessgewichtes wird der Drehhebel der Linse schlagartig aus der Ruhelage herausgeworfen und da das Schliessgewicht nur Bewegungswiderstände der Elemente einzeln und nicht als Summe überwinden muss, ist ein Festsitzen der Klappe praktisch ausgeschlossen.

Das Drehmoment, das die Strömung auf die Klappe ausübt, darf nicht ausser Acht gelassen werden. Dieses Moment, das im Schliessinne wirkt, kann bei einem Rohrbruch sehr hohe Beträge annehmen³⁾ — eine Erscheinung, die bei Leerlaufdrosselklappen, wie z. B. solche beim Wäggital und Grimselwerk vorhanden sind, leicht beobachtet und quantitativ verfolgt werden kann. Es hat zur Folge, dass sich die Klappen, wenn besondere Vorrichtungen fehlen, bei Rohrbruch viel rascher als unter normalen

²⁾ Dr. Ing. Oskar Jüngling: „Drosselklappen als Grundablassverschlässe“. Verlag von R. Oldenbourg, Berlin.

³⁾ Wünsch: Regler für Druck und Menge. R. Oldenbourg, Berlin, Seite 12 u. 13. L. Du Bois: A propos des vannes-papillon, „Bulletin Technique de la Suisse Romande“ 1934, S. 55 u. 61. Dr. C. Keller und Dr. E. Salzmann: Luft-Modellversuche an Drosselklappen für Druckleitungen von Wasserkraftanlagen, „SBZ“, Ifd. Bd., Nr. 13, S. 133*.

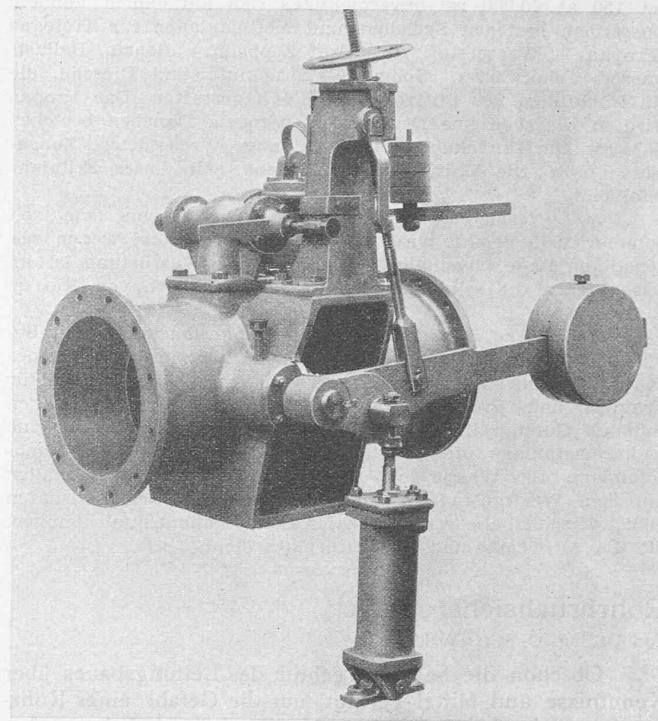


Abb. 6b. Automatischer Rohrabschluss gemäss Abb. 6a.

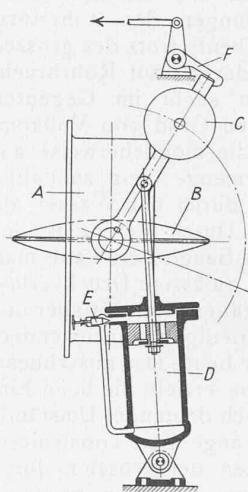


Abb. 5. Automat. Rohrabschluss mit Schliessgewicht alter Bauart.

A Klappengehäuse, B Klappenlinse, C Fallgewicht, D Oelbremse, E Regulierdüse, F Klinke.

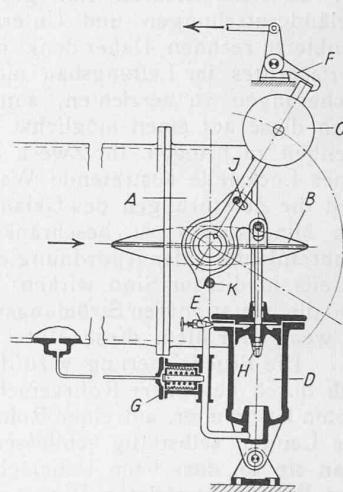


Abb. 6a. Automat. Rohrabschluss mit Schliessgewicht neuer Bauart.

A Klappengehäuse, B Klappenlinse, C Fallgewicht, D Oelbremse, E Regulierdüse, F Klinke, G Druckrelais, H Abschlussdämpfung, J Kulisse, K Anschlag.

Betriebsbedingungen schliessen. Wenn die Strömung damit einerseits auch den Abschluss der Klappe unterstützt und so zur Erhöhung der Betriebssicherheit beiträgt, so soll andererseits wegen der Gefahr von Druckstößen doch ein zu rascher Schliessvorgang verhütet werden. Rohrbruchklappen, die ohne Bremsung schliessen, müssen als gefährlich bezeichnet werden. Bei früheren Ausführungen ist eine Verzögerung des Abschlusses auch öfters in unrichtiger Weise versucht worden. So hat man z. B. bei Seilrollenantrieben das Fallgewicht abgebremst, ohne zu beachten, dass die Klappe unter Lockerwerden des Seiles dem Gewicht vorausseilen und dennoch zuschlagen kann. Ebenso wurde bei rein hydraulischem Antrieb die Druckwasser-Zuleitung zum Schliesszylinder anstatt die Ablaufleitung aus dem Öffnungszyylinder gedrosselt. Da das vom Schliesskolben auf die Klappe ausgeübte Moment bei Rohrbruch in gewissen Klappenstellungen viel kleiner als das Moment der Wasserströmung wird, so ist eine solche Drosselung

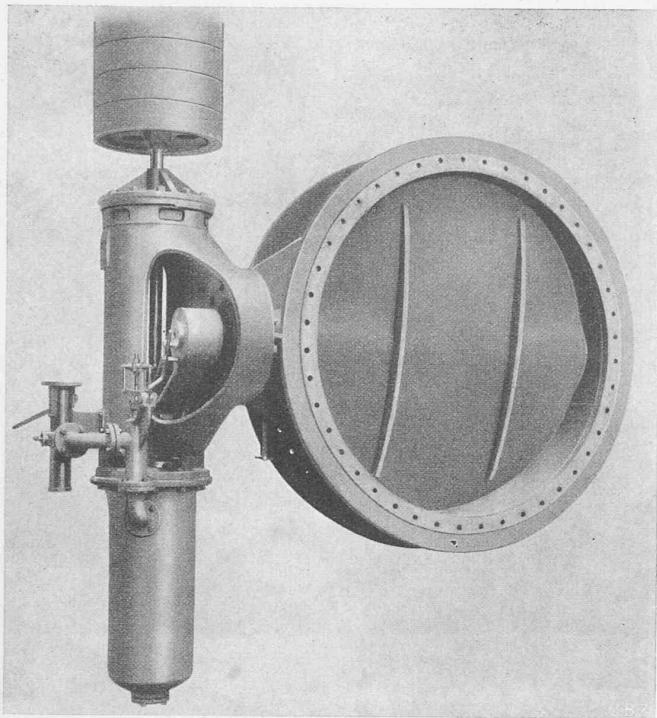


Abb. 7b. Drosselklappe mit Fallgewicht und hydraul. Oeffnungszyylinder mit den Einrichtungen zum Verlangsamten der Schliessgeschwindigkeit nach Steuerschema 7a.

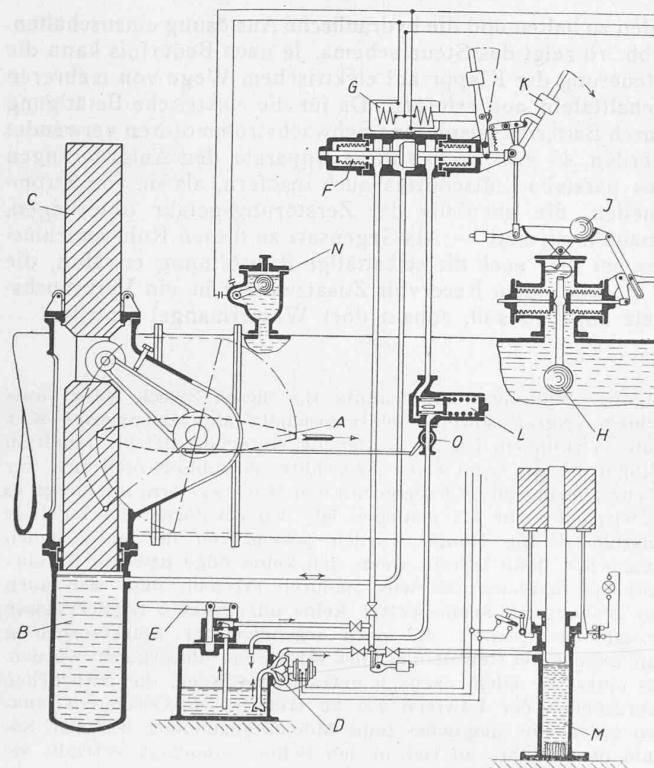


Abb. 7a. Steuerschema eines selbsttägigen Rohrabschlusses mit hydraulischem Oeffnungszyylinder und Fernsteuerung.
A Drosselklappe, B Servomotor-Oeffnungszyylinder, C Schliessgewicht, D Motorpumpe, E Handpumpe, F Steuerventil, G Steuermagnet, H Hydr. Auslösung, J Verstärker, K Fallgewicht, L Druckreduzierventil, M Akkumulator, N Schwimmertopf, O Drosselapparat, P Autom. Lufteinlassventil.

praktisch unwirksam. Aber noch in einer andern Richtung ist Vorsicht geboten. Nur in den wenigsten Fällen ist es möglich, den Abschluss einer Drosselklappe bei einer Durchflussmenge, die einem vollen Rohrbruch entspricht, auszuprobieren. Es empfiehlt sich daher, Schlusszeiten nicht zu knapp zu bemessen. Die nötige Schlusszeit zu berechnen ist wohl möglich; nicht so leicht ist es aber, ein ange-

nommenes Schliessgesetz einzuhalten, wenigstens nicht durch eine Blende oder die üblichen Drosselventile.⁴⁾

Das Eisenwerk Klus baut nach dem Steuerschema der Abb. 7 in die Servomotoren-Ablaufleitungen Druckreduzierventile ein. Die Schlusszeit bleibt dann unabhängig von der Wasserströmung. Oder es setzt sogar in der Steuerung ein Druckrelais ein, das die Abschlussbewegung hemmt, sobald der Druckanstieg in der Leitung ein gewisses Mass erreicht. Das Relais schützt damit einerseits die Leitung vor zu grossen Druckstößen und erlaubt anderseits bei geringem Durchfluss, die Leitung rascher als bei grossem Wasserkonsum abzuschliessen. Die heutige Technik der Druckregler erlaubt auch, solche Organe zuverlässig und empfindlich genug herzustellen, damit sie die ihnen zugeordnete Funktion wirklich ausführen.

Die dynamischen Beanspruchungen solcher Klappen durch die Wasserströmung dürfen nicht unterschätzt werden und sind unter Annahme der ungünstigsten Betriebsbedingungen in Rechnung zu stellen. So die Druckstöße und Erschütterungen, die durch Kavitation entstehen. Stellte man früher auf Bruchversuche ab, um den Sicherheitsgrad von Absperrvorrichtungen festzustellen, so bedient sich heute die Praxis mit Vorliebe der Dehnungsmessungen, um ohne Materialverschwendungen genügend solide Konstruktionen zu entwickeln.

Die Konstruktion der Auslösevorrichtungen hängt, wie bereits geschildert, von den Bedingungen ab, bei denen sie in Wirkung treten müssen. Es sind heute Schnellschlussauslöser durch Schwimmer, Staupendel, Quecksilber-Kippwaagen und verschiedenartige Manometer gebräuchlich. Da die Schwimmer in frostfreien Kammern aufgestellt werden müssen und bei stark schwankendem Wasserspiegel viel Platz benötigen, so ist ihre Anwendungsmöglichkeit beschränkter als die der Quecksilberkippwaagen und Staupendel. Das Pendel als älteste Ausführung war ursprünglich zu wenig empfindlich konstruiert, Abb. 8. Der wesentliche Fortschritt der neuen Bauart (Abb. 7, J, H) liegt im

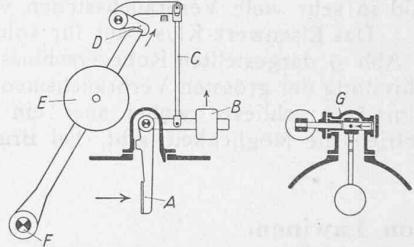


Abb. 8. Hydraul. Auslöseinrichtung alter Bauart.
Legende: A Teller, B Belastungsgewicht, C Gestänge, D Klinke, E Fallgewicht, F Klappenwelle, G Dichtung.

Wegfall sämtlicher im Wasser liegenden Lager und schädlichen Reibungsstellen. Zudem löst das Pendel die Verriegelungsklinke nicht mehr unmittelbar, sondern wirkt nur auf eine Kippwaage mit sehr geringem Widerstand. Ein solcher Apparat gestattet bereits in der Fabrik eine Eichung. Falls am Verwendungsort die Strömung stabil ist, kann er mit wenigen Kontrollversuchen eingestellt werden, ohne dass hierzu grosse Wassermengen benötigt würden, wie sie beim Inbetriebsetzen von Wasserkraftanlagen häufig nicht zur Verfügung stehen. Immerhin ist die Anwendung des Staupendels auch an gewisse Voraussetzungen gebunden. Wo das Wasser stark wirbelt oder in grossen Mengen Laub führt, wird es besser durch ein anderes System ersetzt.

Was die elektrischen Auslösungseinrichtungen anlangt, so sind hauptsächlich Kurbelinduktoren mit naturmagnetischen Auslösekliniken gebräuchlich geworden. Wenn auf eine Stromquelle Verlass ist, kommt aber auch die Druckknopfsteuerung in Frage. Die Differenzmengenauslösung (Abb. 3) ist hauptsächlich für Pumpensteigleitungen aufge-

⁴⁾ Vergl. R. Thomann: Ueber Drucksteigerungen in Rohrleitungen bei der Betätigung von Absperrorganen. „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“, 16. Mai 1936.

kommen. Die Wassermessung erfolgt durch Venturirohre oder Messdüsen am Ein- und Austritt der Leitung. Die beiden Mengenanzeiger lösen bei abweichender Registrierung zuerst einen Alarm, später den Abschluss der Leitung aus.

Besondere Betriebsanforderungen an die Rohrbruchsicherungsverschlüsse werden vonseiten der Wasserversorgungsanlagen gestellt, namentlich unter Berücksichtigung des passiven Luftschutzes. In einer

Wasserversorgungsleitung kann bei Brandfall der Wasserkonsum weit über die normale Verbrauchswassermenge ansteigen. Eine übliche Rohrbruchsicherung mit Maximalauslösung würde in einem solchen Fall die Leitung absperren. Hier liegt einerseits der Wunsch vor, bei Zerstörung eines Rohres das Leitungsnetz nach der Leckstelle sofort abzuschliessen und umgekehrt möglichst grosse Wassermengen nach den Brandstellen befördern zu können. Für lange Leitungen ohne Entnahmestellen erfüllt der Differentialschutz die verlangten Bedingungen. Er ist aber da nicht mehr anwendbar, wo eine Leitung sich bald in sehr viele Verbrauchsstellen verzweigt.

Das Eisenwerk Klus baut für solche Verhältnisse den in Abb. 9 dargestellten Rohrverschluss, der bis zur Überschreitung der grössten Verbrauchsmenge in üblicher Weise selbsttätig schliesst, wobei aber ein elektromechanischer Antrieb die Möglichkeit gibt, bei Brandfällen die Klappe

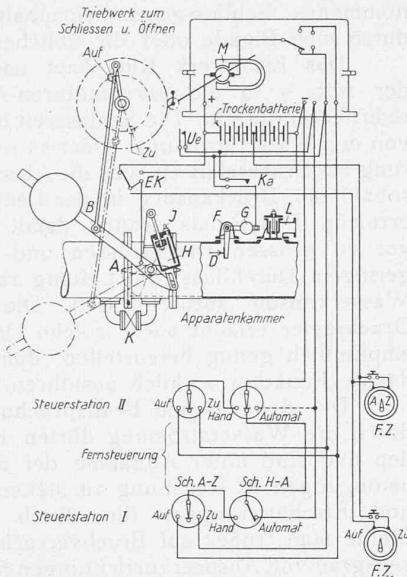


Abb. 10. Steuerschema der Drosselklappe nach Abb. 9.
A Drosselklappe, B Fallgewicht, D Löffel, F Hydr. Auslösung, G Belastungsgewicht, H Oelbremse, J Regulierdüse, K Umleitung, L Autom. Luftfeinlassventil, M Motor, Ka, Ue u. EK Kontakte, A-Z u. H-A Schalter, F. Z. Fernzeigegeräte.

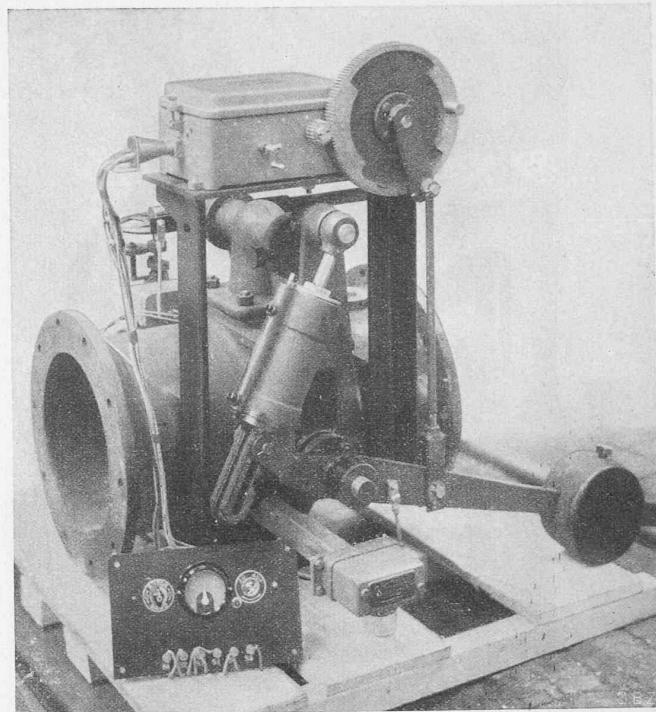


Abb. 9. Selbsttätige und fernsteuerbare Kluser-Rohrbruchklappe für Wasserversorgungen mit Rittmeyer-Steuerung.

offen zu halten und die hydraulische Auslösung einzuschalten. Abb. 10 zeigt das Steuerschema. Je nach Bedürfnis kann die Steuerung der Klappe auf elektrischem Wege von mehreren Schalttafeln aus erfolgen. Da für die elektrische Betätigung durch Batterien gespiesene Schwachstrommotoren verwendet werden, so entsprechen diese Apparate den Anforderungen des passiven Luftschutzes auch insofern, als sie von Stromquellen, die ebenfalls der Zerstörungsgefahr unterliegen, unabhängig sind. — Als Gegensatz zu diesen Rohrverschlüssen sei hier auch die selbsttätige Rohröffnung erwähnt, die z. B. aus einem Reservoir Zusatzwasser in ein Verbrauchernetz abgeben soll, sobald dort Wassermangel eintritt.

Von Lawinen.

Wie Verkehrswände und Ortschaften durch Lawinenverbauungen und Aufforstungen, durch Ablenkmauern und Galerien usw. vor Lawinen geschützt werden können, ist bekannt. Schon seit alters wurde von den Säumern, die mit ihren Trossen zur Winterszeit über lawinengefährliche Pässe zogen, auch die künstliche Auslösung von Schneerutschen usw. als Schutzmassnahme angewandt. Starkes Knallen mit der Peitsche von sicherer Stelle aus galt als praktisches Mittel zur Auslösung von Lawinen. Umgekehrt war es verpönt, beim Traversieren gefährlicher Stellen irgendwelchen Lärm zu verursachen; sogar die Glocken der Saumtiere wurden verhängt.

Die Schneeforschung der letzten Jahre (Dr. Hess, Bern und Prof. Paulcke, Karlsruhe) hat ergeben, dass man besser von lawinengefährlichem Schnee als von lawinengefährlichen Hängen spricht. Denn je nach Schneesoorte und Witterung können auch in der Regel ganz ungefährliche Hänge Schneerutsche und Lawinen senden. Alle diese, oberhalb der Gebirgswege liegenden Hänge zu verbauen, ist finanziell unmöglich. Diese Gründe haben bei der Berninabahn dazu geführt, auf die alten Erfahrungen der Säumer zurückzukommen. Schon 1921 wurde versucht, mit sogenannten Donnerschlägen Auslösewirkungen zu erzielen; im Jahre 1927 ging man zur Verwendung von Spezialraketen über. Aber diese Massnahmen befriedigten deshalb nicht recht, weil die Explosionen nicht immer genau dort erfolgten, wo sie die grösste Wirkung versprachen, d. h. an den meistens ziemlich genau bekannten Abrissstellen der Lawinen.

Im Jahre 1934 stellte die eidg. Militärverwaltung der Berninabahn auf deren Wunsch für Versuche je ein Gebirgsge- schütz, einen Minenwerfer und eine Infanteriekavane zur Ver-

fügung. Während letzteren für diesen Zweck sofort ausschied, zeigten sowohl Gebirgsge- schütz als Minenwerfer sehr gute Wirkungen. Da die Bedienung einfacher und die Munition billiger ist als beim Gebirgsge- schütz, entschloss man sich zur Weiterführung der Versuche mit den Minenwerfern, mit denen es inzwischen recht oft gelungen ist, Schneerutsche und Lawinen auszulösen. Die Hänge wurden jeweils von der gefährlichen Schneelast dann befreit, wenn sich keine Züge usw. im Gefahrenbereiche befanden. Es wird dadurch erreicht, dass sich auch bei schwerstem Schneewetter keine allzugrossen Schneemassen ansammeln können, die nach irgendwelcher Selbstauslösung mit ungeheurer Gewalt und alles zerstörend niedergehen würden. Es muss vor allem darnach getrachtet werden, die natürlichen Abrissstellen der Lawinen gut zu treffen. Die Geschoss-Granaten sollen eine möglichst feine Momentanzündung besitzen. Sodann die Granate zu tief in den Schnee eindringt, ertrinkt sie wirkungslos im weißen Material.

Durch die Explosion an der Oberfläche oder spätestens in der obersten Schneeschicht muss eine möglichst grosse Schneemenge in Bewegung gebracht werden. Der Reibungskoeffizient der Ruhe wird in den der Bewegung übergeführt, der kleinere ist als die Reibungszahl der Ruhe und eventuell unter dem Gefahrkoeffizienten des Hanges liegt. Für jeden Hangwinkel ist der Gefahrkoeffizient ein anderer und bestimmt sich nach Abb. 1 wie folgt:

$$P_1 = R$$

$$G \cdot \sin \varphi = G \cdot \cos \varphi \cdot \mu$$

$$\mu = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi$$

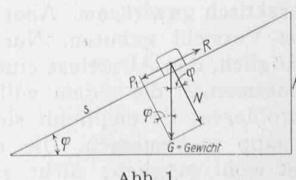


Abb. 1.