

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 119/120 (1942)
Heft: 25

Artikel: Bemerkungen zum Druckwellenkompressor
Autor: Dubs, R. / Eichelberg, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-52498>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

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

rieur des postes, dont la longueur dépasse 80 km. La figure 7, montrant la distribution des câbles au sous-sol de la gare, donne une idée de l'importance de cette partie de l'installation. La plus grande partie des câbles sont posés dans des caniveaux apparents, dont les couvercles sont à niveau des traverses. Les canalisations transversales sont constituées par des tuyaux en ciment ou en éternit, aboutissant à des chambres de dérivation.

8. Block de ligne

On sait que ce dispositif, réglant le distancement des trains, utilise normalement des jeux de block à courant alternatif installés dans une caisse placée en bout de l'appareil d'enclenchement. Les touches de block et les leviers de signaux sont rendus solidaires au moyen de dépendances mécaniques. Dans les installations d'enclenchement électriques, où la course des organes mécaniques est minime, les dépendances précitées ne peuvent guère être réalisées, et il faut nécessairement recourir à des dépendances purement électriques. De plus, les caisses de block sont encombrantes et gênent la visibilité. Pour ces raisons, on a fait usage à Neuchâtel de relais de block rotatifs à échappement. Chacun de ces relais est connecté en série avec le jeu de block respectif de la gare voisine, les deux organes fonctionnant en cascade. Les relais de block et les relais auxiliaires de commande, antirépétiteurs, relais à temps, etc., sont contenus dans une boîte placée au local à relais du poste I.

Le blocage des trains quittant Neuchâtel s'effectue automatiquement, au moment où l'agent du poste I redresse le levier du signal de sortie. Le déblocage des trains à l'arrivée à Neuchâtel s'opère au moyen d'un simple bouton de reddition de voie libre. Un relais actionné par un circuit de voie contrôle préalablement que le train est effectivement entré en gare. Le block côté Vauseyon est complété par une installation de comptage des essieux. En effet, l'agent du poste I chargé de rendre voie libre à Vauseyon après l'arrivée d'un train de cette direction, est dans l'impossibilité de s'assurer de la présence de la queue du convoi. Pour cette raison, les essieux sont comptés automatiquement au départ de Vauseyon, puis décomptés à l'arrivée à Neuchâtel. Si le compteur revient à zéro, la section de block est effectivement libre et le déblocage s'opère automatiquement dès que l'agent du poste I a refermé le signal d'entrée. L'état libre ou bloqué des sections de block est visible sur le tableau lumineux du poste directeur et du poste I, où il est répété par des lampes blanches, respectivement rouges.

Le bref exposé donne une idée de l'importance de l'œuvre réalisée, qui fait de Neuchâtel la gare la plus moderne de la Suisse romande. L'installation de sécurité de Neuchâtel caractérise l'effort constant des CFF en vue d'accroître par les moyens les plus modernes la sécurité de l'exploitation, tout en assurant l'écoulement rapide du trafic. Ajoutons que la concentration dans deux postes de la totalité des aiguilles a permis de réaliser d'importantes économies de personnel.

Bemerkungen zum Druckwellenkompressor

In Nr. 17 der SBZ vom 24. Oktober d. J. ist unter obigem Titel eine Abhandlung erschienen, die mich zu den folgenden Ausführungen veranlasst.

Das zur technischen Ausnützung vorgeschlagene physikalische Phänomen des Druckstosses in geschlossenen Rohrleitungen hat schon vor vielen Jahrzehnten im hydraulischen Widder eine praktische Anwendung gefunden. Während jedoch beim hydraulischen Widder die Steuerung des Schiebers (Klappe oder Ventil) selbsttätig erfolgt, soll nun nach dem neu gemachten Vorschlag diese Steuerung zwangsläufig durch ein besonderes Organ (hier Antrieb durch einen Elektromotor) so vor sich gehen, dass einerseits ein «Aufschaukeln» der Druckwellen möglich wird, andererseits Niederdruck- und Hochdruckzonen geschaffen werden können. Wenn nun ein solches «Aufschaukeln» der Druckwellen in gewissen Fällen als wünschenswert erscheinen mag, lässt sich dies auch beim hydraulischen Widder durch Veränderung der «Schlagzahlen» durch Verschiebung des Ausgleichgewichtes praktisch bis zu einem gewissen Grade erreichen, und ebenso könnte man beim hydraulischen Widder Nieder- und Hochdruckzonen schaffen, indem man ihn nicht ins «Freie» ausgiessen lässt, sondern seinen Ausfluss mit dem Niederdruck verbindet. Im Jahre 1935 wurden in der hydraulischen Abteilung des Maschinenlaboratoriums eingehende Versuche mit zwei verschiedenen Konstruktionen eines hydraulischen Widders durchgeführt, wobei sich zeigte, dass mit diesem sehr einfachen Apparat (Pumpe) auf weitem Bereich Wirkungsgrade von 80 % (ja sogar 82 %) erreicht werden können bei Förderhöhen (Hochdruckbehälter), die das 2,7 bis 5,4 fache der Triebhöhe (Mitteldruckbehälter) waren. Da der hydraulische Widder vollständig automatisch arbeitet (kein Bedarf an fremder Energie nötig) und nur einer sehr geringen Wartung bedarf, ist er für Wasser-Versorgungen in kleinerem Umfange in hohem Masse geeignet. Es würde natürlich grundsätzlich auch möglich sein, das Prinzip

des hydraulischen Widders auch bei grösseren Ausführungen zur Anwendung zu bringen, wenn man die auftretenden Druckstösse «Coups de Béliers» in Kauf nehmen will. Sowohl bei Pumpen- als auch bei Turbinenanlagen liegt jedoch, aus Gründen der Betriebssicherheit, meistens das Bestreben vor, das Auftreten von Druckstössen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Zu der in Nr. 17 entwickelten «Theorie und Berechnung des Druckwellenkompressors» wäre folgendes zu bemerken: Für die infolge der Druckerhöhung Δp im Druckwellenrohr eintretende Volumenvergrösserung ΔV wird der Ausdruck

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta p}{\rho a^2}$$

angeschrieben, wobei sich jedoch nicht ohne weiteres erkennen lässt, wie die Schallgeschwindigkeit a (Druckwellen-Fortpflanzungsgeschwindigkeit) zu berechnen ist. Aus einer späteren Bemerkung (Seite 193 links oben) kann jedoch entnommen werden, dass mit $a = 1425$ m/s gerechnet wurde (Schwingungslänge 14,47 m, Schwingungszeit $1/100$ s), und dieser Wert lässt sich für Wasser im unbegrenzten Raum aus der allgemeinen Beziehung

$$a = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}} \approx \sqrt{\frac{\Delta p}{\Delta \rho}}$$

ableiten. Setzt man dies in die Volumenänderungsgleichung ein, so ergibt sich:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

woraus erhellt, dass für die Aenderung des Volumens V nur die Aenderung der Dichte ρ berücksichtigt wurde. Infolge der Deformation der Rohrwandung des «Druckwellenrohres» tritt nun aber eine grössere Volumenänderung ein, und es wird dadurch der Wert von a beeinflusst. Man hat in diesem Falle zu setzen:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}}}{\sqrt{1 + \frac{D}{s} \frac{\epsilon}{E}}}$$

und da für Wasser

$$\sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}} = \sqrt{\frac{\epsilon}{\rho}} = 1425 \text{ m/s}$$

ist, kann man auch schreiben

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{D}{s} \frac{\epsilon}{E}}}$$

In diesem Ausdruck bedeutet: D = Durchmesser des Wellendruckrohres, s = Wandstärke des Wellendruckrohres, ϵ = Elastizitätsmodul des Wassers, E = Elastizitätsmodul des Materials der Rohrwandung.

Wie aus der obigen Beziehung hervorgeht, ist auf alle Fälle der Wert der Druckfortpflanzungsgeschwindigkeit (Schallgeschwindigkeit) kleiner als 1425 m/s. Dieser Wert variiert für Druckleitungen gewöhnlich zwischen 900 und 1100 m/s, wie neuere Untersuchungen (Druckstoss-Kommission des S. I. A.) wiederum ergeben haben¹⁾.

Ohne auf die übrigen Berechnungen eingehen zu wollen, möchte ich nur bei dem Zahlenbeispiel (Seite 193 rechts unten) feststellen, dass bei grossen Pumpen- und Turbinenleistungen, und nur solche könnten nach den Ausführungen der Autoren in Frage kommen, wesentlich bessere Wirkungsgrade erreicht werden, als sie den Rechnungen zu Grunde gelegt wurden. Man hätte z. B. für die Turbine $\eta_t = 88\%$ und für die Pumpe $\eta_p = 87\%$, sowie für den Generator $\eta_G = 97\%$ und für den Motor $\eta_M = 96\%$ zu setzen. Diese Werte würden dann aber einen totalen Wirkungsgrad von über 71% ergeben und nicht 66% wie in jenen Berechnungen angegeben. Dieser Wert wäre mit dem theoretisch berechneten Wert von 74% zu vergleichen²⁾.

Zu der «Anmerkung zum Wellenkompressor» möchte ich nur darauf hinweisen, dass die Probleme des «Coup de Bélier» unter Berücksichtigung der Kompressibilität des Wassers und der Elastizität des Materials der Rohrwandung bis heute in weit über 200 Abhandlungen ausserordentlich gründlich behandelt worden sind, wobei jedoch stets als Ausgangsgrundlage das simultane System der partiellen Differentialgleichungen erster Ordnung dient, das von Zivilingenieur L. Alliévi (Rom) bekannt gemacht wurde. Diese Gleichungen lauten:

¹⁾ Obschon sich die Autoren des Einflusses der Rohrwand bewusst waren, ist an der von Prof. Dubs hervorgehobenen Stelle in der Tat einer Rohrlänge von 14,47 m leider eine Durchlaufzeit von «rd. $1/100$ s» zugeschrieben, statt einer solchen von «rd. $1,3 \times 10^{-2}$ s». K. H. G.

²⁾ Ing. W. Kropf, Burgdorf, macht uns darauf aufmerksam, dass bei direkter Kupplung der Turbine I mit der Speicherpumpe (l. c. A. b. 10) gleichfalls ein erheblich verbesserter Wirkungsgrad herauskäme. Vgl. das Pump-Speicherwerk Schwarz- und Weiss-See. SBZ, Bd. 103 (1934), S. 79^a. Red.

$$\text{I. } \frac{\partial v}{\partial t} = g \frac{\partial y}{\partial x}$$

$$\text{II. } \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{g}{a^2} \frac{\partial y}{\partial t}$$

worin v die Geschwindigkeit und y die Druckhöhe an irgend einem Punkt im Abstand x vom Abschlussorgan bedeuten. Die allgemeinen Integrale der obigen Differentialgleichungen lauten:

$$\text{I}^*. \quad y = y_0 + F\left(t - \frac{x}{a}\right) - f\left(t + \frac{x}{a}\right)$$

$$\text{II}^*. \quad v = v_0 - \frac{g}{a} \left(F\left(t - \frac{x}{a}\right) + f\left(t + \frac{x}{a}\right) \right)$$

worin F und f vorläufig noch unbekannte Funktionen bedeuten, für die jedoch auf Grund der Randbedingungen Beziehungen abgeleitet werden können. Die Grössen y_0 und v_0 sind die Ausgangswerte³⁾. Im Uebrigen kann hier auf die erwähnten Publikationen hingewiesen werden. Als wohl erste wären hier folgende zu erwähnen:

Comtes rendus acad. des sciences 1858: Abh. von Menabrea;
Atti acad. delle Scienze di Torino 1871: Abh. von Castigliano;
Annali della Società degli Ingeneri ed Architetti, 1903: Abhandlung von L. Allievi. (Ins Deutsche übersetzt und erweitert von R. Dubs und V. Bataillard. Verlag Springer, Berlin 1909);
dazu kommen nun noch sehr viele andere, von denen ich hier nur die Arbeiten von Dr. O. Schnyder und Dr. Ch. Jaeger, sowie der Ingenieure Calame und Gaden und Prof. Dr. H. Favre nennen möchte.
Prof. R. Dubs, E. T. H.

Hierzu schreibt uns der Urheber des Druckwellenkompressors, Prof. Dr. G. Eichelberg:

Ihr eingehender Bericht über die von mir vor etwa fünf Jahren durchgeführte Studie eines Druckwellenkompressors hat verschiedene ergänzende Einsendungen angeregt. Einige Bedenken, vor allem hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit einer praktischen Anwendung auf hydraulische Speicherung, sind von vornherein am Platz, solange kein durchgearbeitetes Projekt vorliegt. Den Druckwellenkompressor für Wasser habe ich im Modell zunächst nur gebaut, weil das eigentliche Ziel, der Druckwellenkompressor für Luft, einige zusätzliche Schwierigkeiten bietet (Fachlich ist mein Element die Luft und nicht das Wasser!). Andere geäußerte Bedenken sind nicht schwerwiegend; so können Druckstöße von den Druckleitungen ohne weiteres durch Einbau von Windkesseln ferngehalten werden. Auch der bekannte Verminderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Druckwellen in Rohrleitungen durch das Zusammenwirken von Flüssigkeits- und Rohrelastizität, auf die Prof. Dubs als Spezialist in Druckstossfragen besonders hinweist, kann ohne weiteres Rechnung getragen werden.

Im Uebrigen kann ich beifügen, dass mit den seinerzeit untersuchten Schaltungen die Möglichkeiten durchaus nicht erschöpft sind. So hat anlässlich der Bearbeitung des Luftwellenkompressors A. Weisz in seiner Diplomarbeit weitere Schaltvarianten aufgefunden gemacht, die nicht nur eine Steigerung des Liefergrades, sondern auch die Verlegung des Niederdruck-Niveaus auf den Umgebungsdruck gestatten, sodass eine Niederdruckturbine nicht mehr benötigt ist. Selbstverständlich kann gleichwohl die Frage der wirtschaftlichen Anwendbarkeit nur durch die genauere Durcharbeit eines Projektes beantwortet werden.
G. Eichelberg.

NEKROLOGE

† Max Jacob, Ingenieur. Im Rahmen einer eindrucksvollen militärischen Bestattungsfeier nahm Mittwoch, den 25. Nov. 1942 im Krematorium in Bern ein grosser Freundes- und Bekanntenkreis auf immer Abschied von Genie-Major Max Jacob, der in den Morgenstunden des vergangenen Sonntags unerwartet rasch, mitten aus rastloser Tätigkeit im Gebirge heraus, einem Schlaganfall erlegen ist.

Max Jacob erblickte am 21. April 1888 in seiner Vaterstadt St. Gallen das Licht der Welt, wo er auch eine glückliche Kindheit und frohe, sorgenfreie Jugendjahre verlebte und die Kantonschule absolvierte. Seine Studienzeit an der Bauingenieurabteilung der E. T. H. fiel in die Jahre 1906/11.

Jacobs erster Einsatz erfolgte bei den SBB. Die ehemalige Kreisdirektion IV St. Gallen engagierte den jungen Statiker auf

³⁾ Die Differentialgleichungen I, II sind äquivalent den Gl. (5) meines Aufsatzes «Zur Analyse der Druckeinspritzung», SBZ, Bd. 112, S. 249*, auf den meine «Anmerkung» verweist. Wie dort ausgeführt, drücken diese Gl. (5) unmittelbar, ohne Berufung auf die Theorie der partiellen Differentialgleichungen, den Wellencharakter von φ und ψ aus. In der obigen Darstellung I*, II* von Druckhöhe und Geschwindigkeit je als Summe dreier Glieder (Konstante, Welle und Gegenwelle) sind die Konstanten y_0 , v_0 ganz beliebig wählbar, bei gleichförmiger Ausgangsverteilung z. B. gleich den Ausgangswerten $y(x, 0)$, $v(x, 0)$; setzt man sie gleich null, so erhält man wieder die Gl. (7) meiner «Anmerkung»: $p = \rho a (\varphi - \psi)$, $v = \varphi + \psi$.
K. H. G.

das Baubureau der II. Spur Winterthur-St. Margrethen, mit Wohnsitz in seiner Vaterstadt. Hier fand Jacob willkommene Betätigung auf dem Gebiete des Eisenbetonbaues. Eine Reihe schöner und konstruktiv interessanter Strassenüberführungen im Zuge der Strecke Rätterschen-Aadorf sind von ihm entworfen, berechnet, zeichnerisch durchgearbeitet und in der baulichen Ausführung überwacht worden. Es ist deshalb nicht verwunderlich, wenn im Jahre 1913 die Bahnverwaltung anlässlich der Inangriffnahme der Vorarbeiten für den zweispurigen Ausbau der Strecke Winkel-Bruggen das Studium und die Projektausarbeitung für den grossen Sitterviadukt bei Bruggen Ingenieur Jacob anvertraute. Mit souveräner Beherrschung der Materie ging er an die Lösung der Aufgabe, wobei er seinen Berechnungen die neuen Theorien über den kontinuierlichen Träger auf elastisch drehbaren Stützen von Prof. Dr. Ing. M. Ritter, E. T. H. dem damaligen Leiter der Eisenbetonunternehmung Ed. Züblin & Cie., Zürich, zu Grunde legte. Die Auswirkung des Weltkrieges 14/18 stellte die Bauaufgaben der Bahn zurück, aber bei deren Wiederaufnahme 1922 baute man das zur Ausführung bestimmte Projekt weitgehend auf den Berechnungen Jacobs auf (Vgl. SBZ No. 20, Bd. 84, 1924).

Als die Firma Ed. Züblin & Cie. A.-G. Zürich im Jahre 1914 für das Konstruktionsbureau einen Chef suchte, war es naheliegend, dass sie sich dieses zum erfahrenen Ingenieur herangereiften Mannes erinnerte und ihm die Stelle anbot. Ing. Jacob griff ohne zögern zu und trat im Frühjahr 1914 in die Firma ein. Mit Ausnahme eines etwa anderthalb jährigen Unterbruches 1918/19, in welcher Zeit er auf dem Bergbaubureau Bern und im Kohlenbergwerk Ruffi bei Schänis tätig war, widmete er in der Folge den Grossteil seiner Lebensarbeit dieser Firma. 1914/18 war er Statiker und Konstrukteur in Zürich und befasste sich in dieser Eigenschaft mit einer ansehnlichen Reihe interessanter Aufgaben auf dem Gebiete des Eisenbetonbaues. Aus der Erinnerung seien hier herausgegriffen das Maschinenhaus des Kraftwerkes Olten-Gösgen mit seinen schwierigen Problemstellungen in der Erfassung des Kräftespieles der grossen Einlaufspiralen und der Saugkrümmer, der Umbau des Predigerchores für die Zentralbibliothek Zürich mit seinen Pflzdecken, und die grossen Rahmenbinder für den Neubau der Spinnerei Windisch.

Nicht restlos befriedigt von seinen schönen Erfolgen auf dem Gebiete der theoretisch-konstruktiven Tätigkeit im Zeichensaal, ging sein längst gehegter Wunsch auf Ausdehnung seines Wirkungsfeldes auch auf den Bauplatz in Erfüllung, als er 1919 Leiter der Filiale Basel wurde. Die damals einsetzende Baukonjunktur gab ihm reichlich Gelegenheit sich in den neuen Aufgabenkreis einzuleben und brachte ihm ein vollgerütteltes Mass von Arbeit. Von den von Ing. Jacob in dieser Baslerzeit ausgeführten Bauten seien erwähnt die Mustermessehallen, die Silos und Lagerhäuser der Rheinschiffahrtsgesellschaften «Rhenus» und «Neptun» im neuen Rheinhafen Klein-Hüningen und das Reservoir Wenkenhof für die Stadt Basel.

1925 siedelte Jacob nach Strassburg über, wohin er in das Stammhaus des Unternehmens, die S. A. des Anciens Etabl. Ed. Züblin & Cie. et A. Perrière & Cie. Strasbourg-Paris berufen worden war. Bis zu seiner im Jahre 1937 erfolgten Rückkehr in die Schweiz verblieb er nun 12 Jahre im Elsass, wo sich in der Folge dem lebhaften und initiativen Geiste die Gelegenheit bot zur Vertiefung und Erweiterung seiner theoretischen Kenntnisse und zur Bereicherung seiner praktischen Erfahrungen in allen Belangen der Ingenieurbaukunst. Denn waren es hier auch wiederum vornehmlich die Probleme des Brückenbaues, die Ing. Jacob mit leidenschaftlichem Interesse erfüllten und deren Behandlung er mit grosser Gewissenhaftigkeit und Sorgfalt pflegte, so gab es daneben doch kein Gebiet der Eisenbetonbauweise, in dem er nicht dann und wann auch tätig gewesen wäre. Die mannigfaltigen Baubedürfnisse der Erz- und Kohlenbergwerkindustrie mit ihren Silo- und Bunkeranlagen, den Hochkaminen und sonstigen Spezialkonstruktionen, der Kraftwerkbau mit Staumauern, Wehr- und Hochbauten sorgten weitgehend dafür. Das Geheimnis seines Erfolges lag neben seinem Wissen auch in seinem konziliananten Wesen, das untermauert war mit den soliden Grundsätzen der bescheidenen Zurückhaltung und der absoluten Wahrhaftigkeit und Treue. Sein Wirken im Ausland bestätigte in bester Weise das Ansehen, das der Schweizer Ingenieurpionier von jeher genossen hat.

Seine reichen, technischen Kenntnisse und Erfahrungen stellte Max Jacob auch in den Dienst der Landesverteidigung. 1909 wurde er Leutnant und im Jahre 1917 Hauptmann der Geniewaffe und leistete seinen Aktivdienst 1914/18 beim ehe-



MAX JACOB

INGENIEUR

21. April 1888

22. Nov. 1942