Eine wirtschaftliche Wasserschlossform

Autor(en): **Schüller, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **89/90 (1927)**

Heft 25

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-41711

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Eine wirtschaftliche Wasserschlossform. — Vom Bauhaus Dessau (mit Tafeln 17 und 18). — Zur Ausstellung „Neue Schweizer Architektur" im Gewerbemuseum Bern. — † Friedrich Schübeler. — Die schweizerischen Eisenbahnen im Jahre 1926. — Von der Elektrifikation der Oesterreichischen Bundesbahnen. — Wettbewerb für ein Angestellten-Wohnhaus des Kantonspital Schaffhausen. — Mitteilungen: Freistrom-Wasserturbine von Suess. Schachtbau mit Grundwasserabsenkung. Zu den V. S. M.-Normen für die Berechnung von Drahtseilen. Basler Rheinhafen-Verkehr. Romanische Architektur in Italien. — Wettbewerbe: Neues Verwaltungsgebäude der Spar- und Leihkasse Thun. Plakatstelle auf dem Zentralplatz in Biel. — Literatur. — S. T. S.

Band 89. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 25

Eine wirtschaftliche Wasserschlossform.

Von Dr. Ing. J. SCHÜLLER, Assistent an der Deutschen Technischen Hochschule, Prag.

Das Bestreben, raumsparende Wasserschlösser mit günstiger Schwingungsdämpfung zu schaffen, hat vom Schacht-Wasserschloss über das Wasserschloss des Zwei-Kammersystems zu den verschiedenen Formen der „gedämpften" Wasserschlösser nach Johnson's Differential-Prinzip [1]) geführt. Da die Baukosten dem Inhalt des Wasserschlosses nahezu proportial sind (für aufgelöste Wasserschlösser nur in weitern Grenzen geltend), war der leitende Gedanke der auf die *wirtschaftliche* Gestaltung zielenden Untersuchungen, die schwingungsdämpfende Wertigkeit der Raumeinheit zu verbessern [2]).

Bei Kammer-Wasserschlössern bedingen neben der Rücksicht, dass auch die im Schachte allein auftretenden Schwingungen gedämpft werden müssen, auch konstruktive Gründe einen endlichen Querschnitt für den Verbindungs-Schacht der beiden Kammern, gegenüber dem Querschnitt Null des idealisierten Kammerbassins. Da nun die Dämpfungswertigkeit im Schachte kleiner ist als in den Kammern, wird man zur Verbesserung des Wirkungsgrades des Wasserschlosses mit dem Querschnitt des Schachtes bis an jenen herangehen, der die in ihm auftretenden endlichen Schwingungen noch wirksam dämpft.

Um die Grenze zu ziehen, wann der von D. Thoma [3]) für kleine Schwingungen hergeleitete Stabilitätsquerschnitt für endliche Schwingungen versagt, soll ein Abschätzungs-Verfahren entwickelt werden, das die Angabe des Dämpfungskriteriums für endliche Schwingungen gestattet. Als Folge dieser Untersuchungen soll weiter eine Wasserschlossform aufgezeigt werden, die die Vorteile des Kammersystems mit denen des Schachtwasserschlosses verknüpft und neben wesentlicher Raumersparnis auch eine Verbesserung der Energiebilanz ergibt [4]).

Das Abschätzungsverfahren.

Für die Betrachtungen soll von der Differentialgleichung

$$s'' + \varphi_{(t)}\, s' + \psi_{(t)}\, s = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

ausgegangen werden, in der s'', s' die zweite und erste Ableitung nach der Zeit, $\varphi_{(t)}$ und $\psi_{(t)}$ zeitveränderliche Koeffizienten bedeuten, die nur in mässigen Grenzen schwanken. Die Gleichung (1) stellt also die Bewegungs-Gleichung eines mit zeitveränderlicher Reibung schwingenden Systems dar, das nach der physikalischen Anschauung dann gedämpfte Schwingungen ausführt, wenn die Koeffizienten $\varphi_{(t)}$ und $\psi_{(t)}$ im ganzen Verlaufe der Schwingung positiv bleiben. Dieses Verfahren auf die Schwingungs-Gleichung im Wasserschloss angewendet, gibt das Dämpfungskriterium für endliche Schwingungsweiten, wie im folgenden gezeigt werden soll.

Die Ausgangsgleichungen.

Die Bewegungsgleichung des für die wasserbauliche Praxis wichtigsten Falles der Regelung auf *konstante Leistung* C ergibt sich mit den Bezeichnungen der Abbildung 1 aus der Durchflussgleichung

$$Q = vf + F\frac{dz}{dt} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

der Beschleunigungsgleichung

$$\frac{L}{g}\frac{dv}{dt} = z - k\,v^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

in Verbindung mit der Reglergleichung

$$C = Q\,(H_0 - z) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

worin H_0 das Gesamtgefälle bedeutet, mit

$$\frac{d^2z}{dt^2} - \frac{kgF}{fL}\left(\frac{dz}{dt}\right)^2 + \frac{dz}{dt}\left[\frac{2\,kgC}{Lf(H_0 - z)} - \frac{C}{F(H_0 - z)^2}\right] + \frac{gf}{LF}\,z = \frac{kC^2g}{LFf(H_0 - z)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

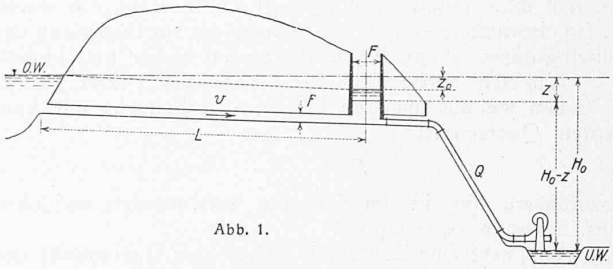

Abb. 1.

Um Gleichung (5) auf die Form der Gleichung (1) zu bringen, wird das Störungsglied durch die bekannte Axen-Transformation mit $z = z_0 + s$ beseitigt, wobei z_0 den Abstand der Schwingungsaxe vom Weiherspiegel bedeutet. Damit ergibt sich unter Vernachlässigung der Glieder in s von höhern als zweiter Ordnung

$$\frac{d^2s}{dt^2} - \frac{kgF}{fL}\left(\frac{ds}{dt}\right)^2 + \frac{ds}{dt}\left[\frac{2\,kCg}{Lf(H_0 - z_0 - s)} - \frac{C}{F(H_0 - z_0 - s)^2}\right] + s\left[\frac{gf}{LF} - \frac{kC^2g}{LFf(H_0 - z_0)^2}\left(\frac{2}{H_0 - z_0} + \frac{s}{(H_0 - z_0)^2}\right)\right] = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Wendet man nun auf diese Differentialgleichung das Abschätzungs-Verfahren an, so ist als erste Stabilitäts-Bedingung der Koeffizient von s im ganzen Verlaufe der Schwingung grösser als Null zu setzen,

$$f - \frac{kC^2[2\,(H_0 - z_0) + s]}{f(H_0 - z_0)^4} > 0$$

woraus sich ergibt:

$$C < \frac{f(H_0 - z_0)^2}{\sqrt{k\,[2\,(H_0 - z_0) + s]}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Aus Gl. (7) ergibt sich für den ungünstigsten Wert der Schwingungsweite, der überhaupt auftreten kann, mit $s = H_0 - z_0$ in Verbindung mit der Reglergleichung

$$z_0 < H_0/4 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

d. h. den *Grenzwert* der Leistungsentnahme für *dämpfungssichere endliche* Schwingungen gibt jene Leistung, bei deren Entnahme im Dauerbetrieb das Reibungsgefälle $H_0/4$ beträgt.

Für kleine Schwingungen ergibt sich der bekannte Grenzwert der Leistung aus Gleichung (7) mit $s = 0$ zu

$$z_0 < H_0/3$$

Aus dem zweiten und dritten Gliede der Gleichung (6) folgt als zweite Stabilitätsbedingung:

$$\left[\frac{2\,kCg}{Lf(H_0 - z)} - \frac{C}{F(H_0 - z)^2} - \frac{kgF}{fL}\frac{ds}{dt}\right] > 0$$

woraus mit Einführung des Wertes für ds/dt aus Gl. (2) als hinreichende Bedingung gedämpfter Schwingungen folgt:

[1]) „Eng. Rec.", 1915/I, Band 71, Seite 368.

[2]) F. Vogt, Berechnung und Konstruktion des Wasserschlosses, Stuttgart 1923.

[3]) D. Thoma, Zur Theorie des Wasserschlosses bei selbsttätig geregelten Turbinenanlagen, München 1910.

[4]) Ueber Stabilitätsfragen bei endlichen Schwingungen und Konstruktionsgrundsätze zur wirtschaftlichen Formgebung von Wasserschlössern wird in einer zusammenfassenden Arbeit des Verfassers, die demnächst erscheinen wird, ausführlich berichtet.

$$F > \frac{LfC}{kg(H_0 - z)^2\left[\frac{C}{H_0 - z} + vf\right]} \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Wird nun der Fall des plötzlichen Einschaltens von Betriebstillstand auf andauernde Entnahme einer Leistung C betrachtet, so folgt für $v = o$ und $z = o$ aus Gleichung (11)

$$F > \frac{Lf}{kgH_0} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Setzt man in Gl. (11) die zufliessende Wassermenge gleich der abfliessenden, so ergibt sich daraus der von Thoma hergeleitete Querschnitt für kleine Schwingungen

$$F > \frac{fL}{2kg(H_0 - z_0)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Gleichung (11) sagt über die Form des Wasserschlosses unmittelbar nichts aus, weil der Zusammenhang zwischen v und z nicht bekannt ist. Die ungünstigste Annahme zur Erreichung stabiler Verhältnisse ist die, dass die Geschwindigkeit im Stollen nur sehr langsam wächst. Setzt man in Gleichung (11) in erster Näherung $v = o$, so ergibt sich als Bestimmungsgleichung für die Form des Wasserschlosses

$$F \geq \frac{Lf}{kg(H_0 - z)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Unter Berücksichtigung des mit z veränderlichen Querschnittes nach Gl. (14) würde Gl. (5) die Form annehmen:

$$\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{kgC}{fL(H_0 - z)}\frac{dz}{dt} + \frac{gf}{LF_{(z)}}z = \frac{kgC^2}{LfF_{(z)}(H_0 - z)^2} \quad (15)$$

aus der man unmittelbar ablesen kann, dass die durch Gl. (14) bestimmte Wasserschlossform die zur Dämpfung der Schwingungen nötige Form für $v \neq o$ sicher umschliesst.

Wie sich zeichnerisch leicht nachweisen lässt, genügt es in den weitaus meisten Fällen, den Schacht mit konstantem Querschnitt

$$F \geq \frac{Lf}{kgH_0}$$

auszuführen, um die im Schachte auftretenden endlichen Schwingungen zu dämpfen.

Als praktische Regel galt bisher, den Querschnitt des Schachtes gleich dem sieben- bis achtfachen *Mindestquerschnitt* für die Dämpfung *kleiner* Schwingungen zu machen. Gleichung (12) zeigt nun, dass zur Dämpfung endlicher Schwingungen schon ein Querschnitt ausreicht, der nicht ganz dem doppelten Minimalquerschnitt entspricht, was aber ohne obere und untere Kammer allerdings sehr erhebliche Schwingungsausschläge zur Folge hätte.

Von den hier gewonnenen Ergebnissen ausgehend, soll nun eine Wasserschlossform entwickelt werden, die der doppelten Aufgabe gerecht wird, die gleiche Kammer, die zur Aufnahme des Wassers bei plötzlichem Abschliessen der Druckleitung dient, gleichzeitig als Energiespeicher für plötzliches Oeffnen heranzuziehen.

Beschreibung der Wasserschlossform.

Für das Wasserschloss nach Abbildung 2 dient als Ausgangsform das Kammer-Wasserschloss, mit dem Leitgedanken, die grosse obere Kammer, die aus Gründen der Rohrbruchsicherung für das plötzliche und vollständige Abschliessen der Druckleitung bemessen werden muss, entgegen der bisherigen Ausführung, gänzlich unter den Weiherspiegel zu legen, um sie auch zur Schwingungsdämpfung für das Oeffnen heranzuziehen. Die Kammer ist daher so zu formen, dass für jeden Betriebszustand der für plötzlichen Abschluss notwendige Fassungsraum zur Verfügung steht.

Vorerst soll die Voraussetzung gemacht werden, dass der Weiherspiegel zeitlich unverändert in gleicher Höhenlage bleibt. Als Querschnitt des Steigschachtes wird der Mindestquerschnitt zur Dämpfung endlicher Schwingungen gewählt. In der Höhe h_0 über dem Weiherspiegel liegt im Steigschacht eine Ueberfallkrone, über die das Wasser in die Kammer fällt.

Unmittelbar unter dem Betriebspiegel für Vollast schliesst eine Rückschlagklappe [1]) die Verbindungsöffnung zwischen Schacht und Kammer ab. Die Klappe lässt einen schmalen Schlitz der Verbindungsöffnung frei, der einen allmählichen Spiegelausgleich zwischen Kammer und Schacht ermöglicht (Abbildung 2).

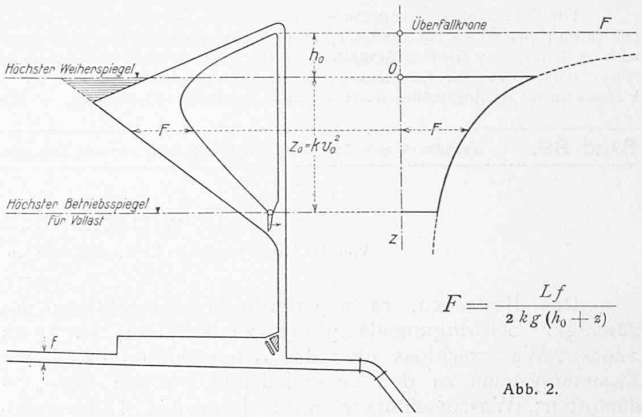

Abb. 2.

Bei plötzlichem Abschliessen wirkt das Wasserschloss wie ein Kammerwasserschloss mit Ueberfallschwelle, beim Einschalten der Turbinen wie ein Schacht-Wasserschloss mit sehr grossem Querschnitt, wodurch eine nahezu schwingungsfreie Angleichung an den Betriebspiegel erreicht wird.

Berechnung des Inhaltes der Kammer und der Form des Wasserschlosses.

Unter der Annahme eines unendlich schmalen Steigschachtes mit Ueberfall bestimmt Gleichung (3)

$$\frac{L}{g}\frac{dv}{dt} = z - kv^2$$

allein für plötzliches Abschliessen der Druckleitung die Bewegung des Wassers im Stollen. Das Wasser steigt im Schachte bis zur Ueberfallkrone an, die Klappe wurde durch den hydrostatischen Ueberdruck geschlossen, und nun strömt das ganze zufliessende Wasser über den Ueberfall in die Kammer. Während des Ueberströmens bleibt die Verzögerungshöhe nahezu konstant, gleich $-h_0$; mit dieser Annahme kann Gleichung (3) unmittelbar integriert werden und ergibt mit $t = o$; $v = v_0$:

$$v = \sqrt{\frac{h_0}{k}}\,\mathrm{tg}\sqrt{h_0 k}\left[C - \frac{g}{L}t\right] \quad . \quad . \quad (16)$$

mit

$$C = \frac{1}{\sqrt{h_0 k}}\,\mathrm{arctg}\sqrt{\frac{k}{h_0}}\,v_0$$

Für $v = o$ folgt aus Gleichung (16) die Zeitdauer des Ueberströmens über den Ueberfall mit

$$T = \frac{L}{g\sqrt{h_0 k}}\,\mathrm{arctg}\sqrt{\frac{k}{h_0}}\,v_0 \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Mit diesen Werten ergibt sich das Volumen V der überfliessenden Wassermenge (gleich dem Inhalte der Kammer) zu

$$V = f\int_{t=o}^{t=T} v\,dt = \frac{Lf}{2kg}\ln\left(1 + \frac{kv_0^2}{h_0}\right) \quad . \quad . \quad (18)$$

wenn $kv_0^2 = z_0$ die Reibungshöhe für Vollast bedeutet. Da nun z_0 für verschiedene Belastungsgrade verschieden ist, muss die Querschnittverteilung der Kammer über die Reibungshöhe z_0 so erfolgen, dass für jeden Betriebszustand der für plötzliches Abschliessen notwendige leere Kammer-Raum verfügbar ist.

Diese Verteilung ergibt sich aus

$$F = \frac{dV}{dz_0} = \frac{Lf}{2kg(h_0 + z_0)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19)$$

und stellt eine gleichseitige Hyperbel mit den Asymptoten $z = -h_0$ und $F = o$ dar (Abbildung 2 rechts).

Aus Gleichung (18) folgt, dass der Kammerraum durch Vergrösserung von h_0 beliebig verkleinert werden könnte, doch ist die obere Grenze durch die Beanspruchung gegeben, die für die Stollenpanzerung noch zulässig ist.

[1]) A. Schoklitsch wendet Rückschlagklappen bei einigen Verbindungs-Oeffnungen der obern Kammer mit dem Schachte beim Wasserschloss des Teigitschwerkes an. „Zeitschrift österr. Wasserwirtschaft", 15. Sept. 1926.

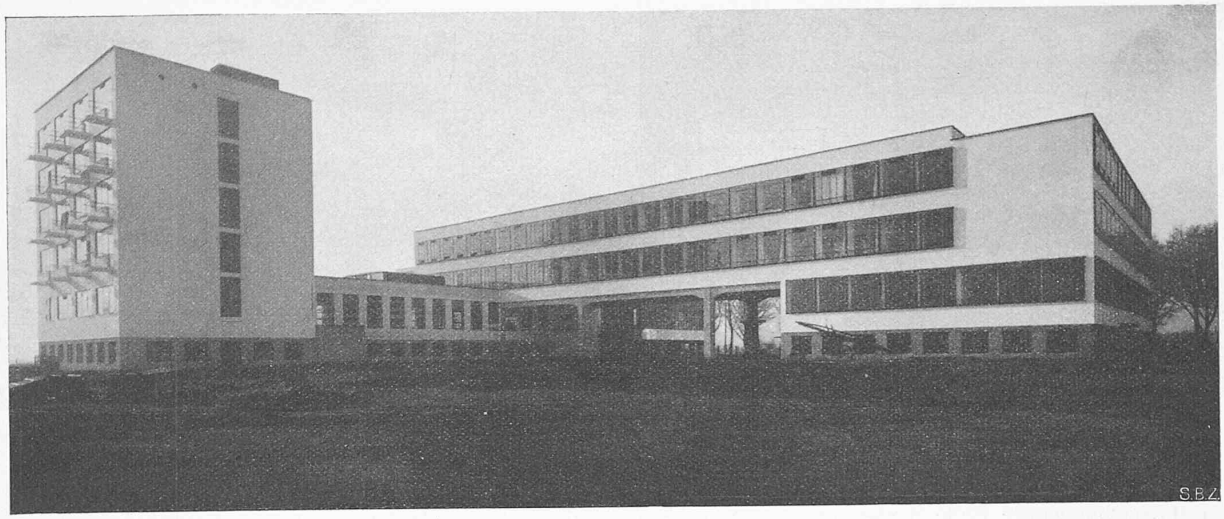

Abb. 1. Bauhaus Dessau. Blick auf die ganze Baugruppe. Links das Ateliergebäude, rechts das Fachschulgebäude.

Der Ausgleichvorgang für das Einschalten von Halblast auf Vollast, wie er für die Bemessung meist betrachtet wird, ist nach einem der bekannten zeichnerischen Verfahren leicht nachzuprüfen [1]).

Ist der Weiherspiegel zeitveränderlich, so ist die Kammer nach Abb. 2 unter dem höchsten Stauziele des Weihers anzuordnen und der Stollen als untere Kammer mit „Saugschwelle“ nach Patent Dr. Kammüller [2]) auszuführen.

Für die konstruktive Durchbildung lässt diese Wasserschlossform grösste Freizügigkeit in der gegenseitigen Anordnung von Kammer und Steigschacht zu.

Die infolge des endlichen Schachtquerschnittes noch mögliche (allerdings unwesentliche) Verkleinerung des Kammerraumes könnte zeichnerisch leicht ermittelt werden (in Abbildung 2 durch horizontale Schraffur angedeutet).

[1]) E. Braun, Ueber Wasserschlossprobleme, „Z. f. ges. Turbinenwesen“, 1920; Spiegelbewegungen in Wasserschlössern, „S. B. Z.“, Bd. 86, S. 67 (8. August 1925). — Leiner, Ermittlung der Schwingungen im Wasserschloss, „Z. V. D. I.“, 1925, Heft 52. — L. Mühlhofer, Zeichnerische Bestimmung der Spiegelbewegungen in Wasserschlössern von Wasserkraftanlagen mit unter Druck durchflossenem Zulaufgerinne. J. Springer, Berlin 1924. — A. Schoklitsch, Spiegelbewegung im Wasserschloss, „S. B. Z.“, Band 81, S. 129 (17. März 1923).

[2]) Kammüller, Ueber die rationelle Konstruktion von Wasserschlössern, „Wasserkraft“, 1925, Heft 7; Die Saugschwelle in der untern Wasserschlosskammer und der durch sie erzielbare Raumgewinn, „Bauingenieur“, 1926, Heft 47 (S. a. „S. B. Z.“, Seite 201 lfd. Bds., 9. April 1927).

Als Vorteile sind anzuführen: Sehr erhebliche Ersparnis an Ausbruchraum [3]), Verbesserung der Energie-Bilanz, geringste Beanspruchung des Stollens durch Vermeidung der Schwingungen, Energievernichtung bei plötzlichem Abschluss in der Kammer, also ausserhalb des schwingenden Systems. Gegenüber den „gedämpften“ Wasserschlössern ist die hier gezeigte Form dadurch im Vorteil, dass sie neben kleinerem Fassungsraum unempfindlich ist gegen Belastungstösse.

Vom Bauhaus Dessau.

(Mit Tafeln 17 und 18.)

Es ist schwierig, über ein Unternehmen zu berichten, dessen Mut und Energie grösster Bewunderung wert ist, dessen Grundideen der Referent für richtig hält, und dessen Erzeugnisse und seelische Haltung ihm dennoch im Tiefsten unsympathisch sind. Zuerst das Objektive, wozu wir (unter Verzicht auf die in allen Bauhaus-Aeusserungen übliche Kleinschreibung aller Worte, einschliessl. der Eigennamen) die Daten der Nr. 1 der Zeitschrift „bauhaus“ entnehmen.

[3]) Das Wasserschloss des „Spullersees“ würde nach diesem Verfahren mit einer Ersparnis von 50 % des Gesamtausbruchraums bei gleichen Berechnungsgrundlagen gebaut werden können. Das Wasserschloss des Nore-Werks (F. Vogt, loc. cit, S. 95) ergibt gegenüber dem Entwurf der Staatsbehörden eine Ersparnis von 10 000 m³.

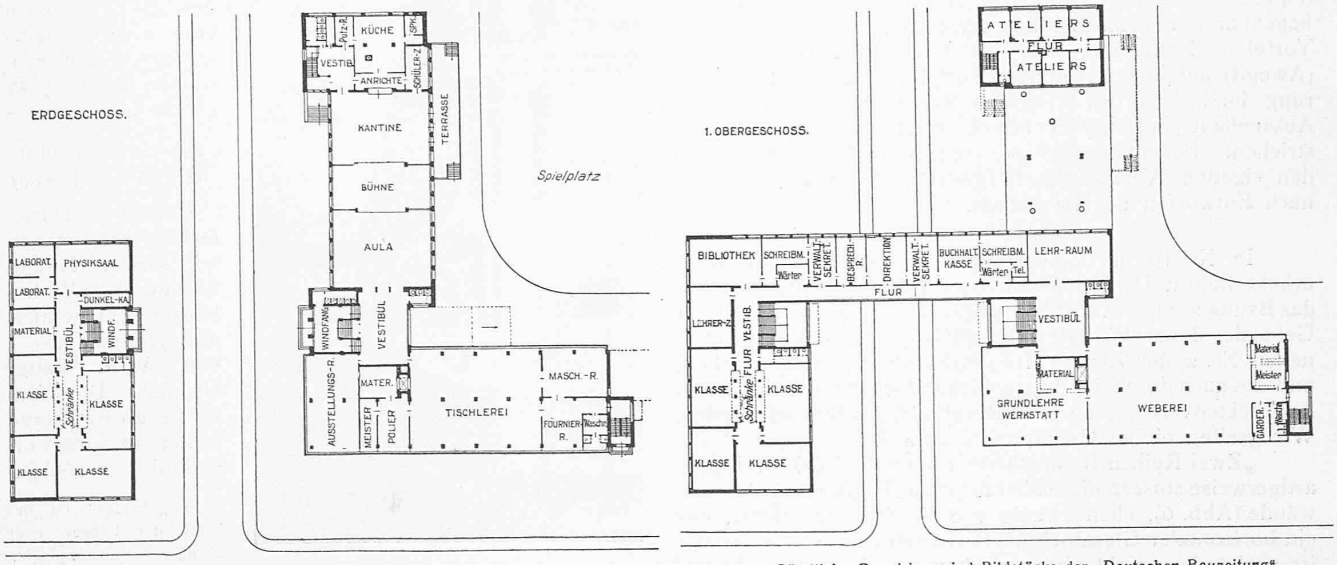

Abb. 2 und 3. Grundrisse des Erdgeschosses und des I. Obergeschosses des „Bauhaus“. — Sämtliche Grundrisse sind Bildstöcke der „Deutschen Bauzeitung“.