Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83/84 (1924)
Heft: 1

Artikel: Neuere Berechnungsmethoden aus dem Gebiete der Hydraulik
Autor: Meyer-Peter, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-82820

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: 29.07.2025

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

INHALT: Neuere Berechnungsmethoden aus dem Gebiete der Hydraulik. — Moderne Wiener Architektur. — Die Erosionsrinne der Staumauer im Schräh des Kraftwerks Wäggital. — Ein Beitrag zum Kapitel Abrostung. — Korrespondenz. — Miscellanea: Hängebrücke über den Hudson River bei Peekskill. Neue Schnellzug-Lokomotiven der Midi-Bahn. Zur Frage der automatischen Zugsicherung. Die zulässigen Gebäudehöhen in St. Louis, Mo. Internationaler mathematischer Kongress in Toronto. Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Pro Memoria: Generalversammlung des S. I. A. in Graubünden. S. T. S

Band 84. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur auf Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 1.**

Neuere Berechnungsmethoden aus dem Gebiete der Hydraulik.

Von Prof. E. Meyer-Peter, Zürich [1]).

I. Die neue Geschwindigkeitsformel [2]).

Die Formel $v = c\sqrt{RJ}$, die Chézy schon im Jahre 1775 aufgestellt haben soll, und in der der Wert c nach der Ansicht von Chézy wie auch späterer Forscher vorerst eine Konstante bedeutete, ist heute noch fast allgemein im Gebrauch zur Berechnung der Geschwindigkeit in offenen Wasserläufen und in geschlossenen Rohrleitungen. Seitdem 1877 Ganguillet und Kutter für die Abhängigkeit des Geschwindigkeitskoeffizienten c vom Profilradius R, vom Wasserspiegelgefälle J und von einem Rauhigkeits-Koeffizienten n ihre bekannte Formel aufgestellt hatten:

$$c = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{J}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$$

erfreute sich die alte Chézysche Formel in der Schweiz, in Deutschland, Italien, Oesterreich usw. allgemeiner Beliebtheit. Namentlich für künstliche Wasserläufe wurden auf Grund dieser Formel ziemlich befriedigende Resultate gezeitigt, während für natürliche Flussläufe infolge der Abhängigkeit des Rauhigkeitskoeffizienten n vom Wasserstand stetsfort recht unsichere Verhältnisse vorlagen, was in neuerer Zeit namentlich auch bei der Vorausberechnung von Staukurven unliebsam in Erscheinung trat. Diese Unstimmigkeiten, ferner auch die Kompliziertheit der Formel an sich, und zuletzt auch der theoretisch nicht einwandfreie Aufbau der Ganguillet und Kutterschen Formel veranlassten in letzter Zeit eine ganze Anzahl von Forschern, neue Wege zu gehen.

Im „Zentralblatt der Bauverwaltung" vom 2. April 1921 weist Beyerhaus in einem Aufsatz: „Die Trugschlüsse aus den Mississippi-Messungen von Humphreys und Abbot und der fehlerhafte Aufbau der Ganguillet und Kutterschen Formel" darauf hin, dass die Messungen der beiden amerikanischen Ingenieure ganz offensichtlich mit Fehlern behaftet waren. Dies bezieht sich einmal auf die Bestimmung des Gefälles an sich, das auf eine derart kurze Strecke des Flusslaufes bezogen wurde, dass die bei den vorhandenen Wellen naturgemäss eintretenden Beobachtungsfehler grösser als das absolute Gefälle sein konnten. Sodann aber war in der Messtrecke keine gleichförmige Bewegung vorhanden, wie dies aus den Anfangs- und Endprofilen der Messtrecke hervorgeht. Nun ist aber bekannt, dass gerade diese Mississippi-Messungen Veranlassung zum komplizierten Aufbau der Ganguillet und Kutterschen Formel gegeben hatten. Durch den Nachweis der Fehlerhaftigkeit der Messungen fielen somit die Grundlagen der Ganguillet und Kutterschen Formel von selbst dahin.

Es sei gerade an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht, wie wichtig die Wahl der Messtrecken für die Aufstellung von Geschwindigkeitsformeln ist. Nach dem Bernoullischen Theorem gilt für untenstehende Abbildung 1 die Gleichung:

$$J_s \Delta l + t_1 + \frac{v^2_1}{2g} = t_2 + \frac{v^2_2}{2g} + \Delta h_e$$

worin Δh_e das Gefälle der Energielinie bedeutet.

Aus der Abbildung folgt nun, wenn Δh das Wasserspiegelgefälle bezeichnet:

$$\Delta h + \frac{v^2_1}{2g} = \Delta h_e + \frac{v^2_2}{2g}$$

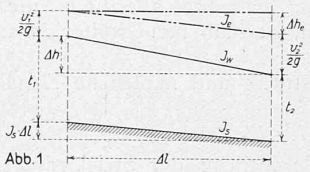


Abb. 1

und

$$\Delta h = \Delta h_e + \frac{v^2_2 - v^2_1}{2g}$$

Wasserspiegelgefälle und Gefälle der Energielinie unterscheiden sich also um den Wert $\frac{v^2_2 - v^2_1}{2g}$, d. i. um die Aenderung der Geschwindigkeitshöhe.

Wird demnach bei ungleichförmiger Bewegung das gemessene Wasserspiegelgefälle Δh anstatt des Energieliniengefälles Δh_e eingeführt, so ist die Unrichtigkeit der auf die Grösse c gemachten Schlüsse offensichtlich.

Von den verschiedenen Versuchen zur Aufstellung einer einfachern und den Verhältnissen besser entsprechenden Geschwindigkeitsformel sei nur jener zur Aufstellung einer sogenannten *Potenzformel* erwähnt; da er allein nach dem heutigen Stand der Untersuchungen Erfolg verspricht. Eine solche Potenzformel kann in der Form

$$v = k R^{\mu} J^{\nu}$$

angeschrieben werden, in der k eine der von der Rauhigkeit der Wandungen abhängende Konstante, μ und ν noch zu bestimmende konstante Exponenten der Grössen R und J darstellen.

Manning setzte im Jahre 1890 für künstliche Gerinne

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2}$$

wobei n den Rauhigkeitskoeffizienten der Ganguillet und Kutterschen Formel bedeutet. Seither gingen nun die Versuche zur Aufstellung einer Potenzformel parallel weiter in Nordamerika, Deutschland und der Schweiz.

Scobey hat die Manningschen Versuche im Jahre 1920 bei sehr zahlreichen Messungen an Betonröhren nachgeprüft. (Siehe „Wasserkraft", 5. April 1922 und Forchheimer: „Der Durchfluss des Wassers durch Röhren und Gräben, insbesondere durch Werkgräben grosser Abmessungen"). Aus diesen Messungen geht hervor, dass für Betonkanäle mit freiem Spiegel die Ausdrücke

$$v = k R^{0{,}7} J^{0{,}5} \text{ und } v = k R^{2/3} J^{1/2}$$

befriedigende Resultate ergaben. Hierbei war angenähert

$$k = \frac{1}{n}$$

Fast ebensogut liesse sich aus den Scobeyschen Versuchen die Formel ableiten

$$v = k R^{0{,}625} J^{0{,}5},$$

wobei wieder $k = \frac{1}{n}$.

Forchheimer veröffentlichte in der eben zitierten Schrift die Messungen in grossen trapez- oder muldenförmigen Oberwasserkanälen und gelangt wieder zum Schlusse, dass die Formel

$$v = k R^{0{,}7} J^{0{,}5}$$

zu empfehlen sei, wobei auch er eine für praktische Bedürfnisse hinreichende Uebereinstimmung der Grössen k und $\frac{1}{n}$ feststellt.

Dr. *Strickler* geht in seiner neuesten Veröffentlichung (Mitteilung des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft, No. 16) „Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und ge

[1]) Vorlesung, gehalten im „Kurs über neuere technische Fragen aus dem Gebiete der Bau-, Maschinen- und Elektro-Ingenieur-Wissenschaften", veranstaltet durch den S. I. A. im Oktober 1923.

[2]) Vergl. hierüber auch die inzwischen erschienene Abhandlung von Dr. A. Strickler in der „S. B. Z." vom 7. Juni 1924, von der Prof. Meyer-Peter bei Niederschrift seines Vortrags keine Kenntnis hatte. Da indessen durch die Veröffentlichung Stricklers die interessante Darlegung Prof. Meyers über den Entwicklungsgang, der zur neuen Geschwindigkeitsformel geführt hat, keineswegs überholt wird, haben wir den Autor ersucht, seinen Aufsatz (von dem ein Sonderabdruck erstellt wird) unverändert erscheinen zu lassen. Red.

schlossene Leitungen" einen Schritt weiter, indem er seine Untersuchungen nicht nur auf künstliche Wasserläufe beschränkt, sondern sie auch auf die natürlichen Flussläufe ausdehnt. Ueber diesen Gegenstand hatte allerdings auch Beyerhaus im „Bauingenieur" vom 30. September und 15. Oktober 1921 bereits Untersuchungen veröffentlicht, deren Resultat die Formel war:

$$v = k R^{0,7} J^{0,6}$$

Der leichteren Anwendung wegen kommt zwar Beyerhaus zum Vorschlag einer Formel der Form

$$v = k R^{2/3} J^{1/2}$$

wobei k allerdings für natürliche Flussläufe nicht mehr mit $\frac{1}{n}$ übereinstimmt. Die auf Grund von Messungen am Rhein, an der Elbe, Mosel, Seine, am Mississippi und der Memel gewonnenen Resultate scheinen allerdings nicht vollkommen eindeutig zu sein, weshalb nicht weiter darauf eingegangen werden soll.

Strickler findet für künstliche und natürliche Kanäle das Gesetz

$$v = k R^{2/3} J^{1/2}$$

Das für den Bauingenieur Wesentliche der Stricklerschen Untersuchungen ist nun der Umstand, dass bei natürlichen Flüssen der Wert von k nicht mehr absolut konstant ist. Vielmehr weist ein solches Gewässer zwei Rauhigkeitstufen auf, die untere Stufe für diejenigen Wassermengen, bei denen das Geschiebe noch ruhig bleibt, die obere Stufe für den Zustand des eigentlichen Geschiebetriebes. Trägt man demnach die zugehörigen Werte von v und $R^{2/3} J^{1/2}$ in einem rechtwinkligen Koordinatensystem auf, so erhält man zwei Gerade, zwischen denen sich ein kurzes Uebergangsstück einschiebt (Abb. 2).

Die schon früher beobachtete Erscheinung der Veränderlichkeit des Rauhigkeitskoeffizienten mit dem Wasserstand wird nach den bisherigen Untersuchungen mithin besser durch die beiden Geraden erklärt, als mittelst einer Kurve, die k allmählich abnehmen lässt. Für die Bemessung des Wertes k empfiehlt Strickler die Formel

$$k = \frac{21,1}{\sqrt[6]{\varrho}}$$

wobei ϱ einen mittlern Korndurchmesser darstellt für natürliche Flüsse, bezw. die mittlere Grösse der Unebenheiten bei künstlichen Wasserläufen.

Aus der eben skizzierten Entwicklung der Bestrebungen nach Aufstellung einer neuen Geschwindigkeits-Formel geht hervor, dass der praktisch arbeitende Ingenieur heute doch schon ein Werkzeug besitzt, mit dem er seine Berechnungen rascher und mindestens ebenso zutreffend durchzuführen in der Lage ist, als mit der Formel von Ganguillet und Kutter. Ich möchte deshalb meinerseits die Benützung dieser neuen Formel warm empfehlen und namentlich den Fachkollegen, die Gelegenheit haben, Messungen durchzuführen, anraten, die Messresultate nach der neuen Methode auszuwerten.

Es soll nur noch kurz angedeutet werden, dass sich hiefür eine logarithmische Aufzeichnung am besten eignet, indem jedes Potenzgesetz von der Form:

$$v = k R^{\mu} J^{\nu}$$

durch logarithmieren in die Form übergeht

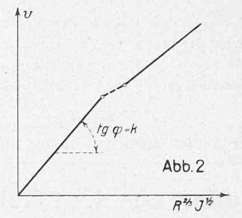
$$\lg v = \lg k + \mu \lg R + \nu \lg J.$$

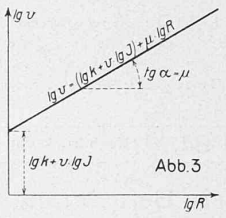
Setzt man hier z. B. ν als bekannt voraus und behandelt man Messresultate mit gleichem Gefälle, so stellt obige Gleichung eine Gerade dar, in der der Abschnitt auf der $\lg v$-Axe den Wert $\lg k + \nu \lg J$ bedeutet, während $\operatorname{tg} \alpha = \mu$ wird (Abb. 3). Aehnlich können auch Fälle mit konstantem R behandelt werden.

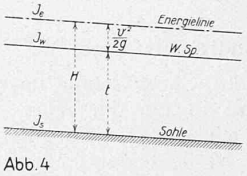
II. Künstliche Wasserläufe mit freiem Wasserspiegel.

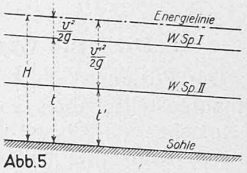
1. *Normalabfluss und Energielinie.*

a) Definition des „Normalabflusses" und der „Energielinie" (Abb. 4). Vorausgesetzt sei ein Flusslauf mit prismatischem Profil, konstanter Neigung und Rauhigkeit. In einem solchen Bett kann sich theoretisch gleichförmige Bewegung einstellen, wenn dessen Länge unendlich gross ist. — Gegeben sei z. B. bei einem rechteckigen Profil die Breite b, das Gefälle J, die Wassermenge Q. Für die betrachtete gleichförmige Bewegung kann hieraus die Wassertiefe berechnet werden, da









$$Q = F k R^{\mu} J^{\nu} = b t k \left(\frac{b\,t}{b + 2t}\right)^{\mu} J^{1/2}$$

$$Q = k \frac{(b\,t)^{\mu + 1}}{(b + 2t)^{\mu}} J^{1/2}$$

Diesen idealen Bewegungszustand der gleichförmigen Bewegung im prismatischen Bett nennt man *Normalabfluss* [1]). Jede Profiländerung (Breite, Gefälle und Rauhigkeit) bringt ungleichförmige Bewegung mit sich. In unendlicher Entfernung von der Profiländerung strebt dann der Wasserspiegel dem Normalabfluss entgegen und zwar, wie wir später sehen werden, entweder flussaufwärts oder flussabwärts.

Die *Energielinie* wird erhalten, indem man vom Wasserspiegel aus die Grösse $\frac{v^2}{2g}$ aufträgt. Da beim gleichförmigen oder Normalabfluss die Geschwindigkeit v konstant ist, verläuft die Energielinie parallel zum Wasserspiegel und dieser parallel zur Sohle; für den Normalabfluss gilt also $J_e = J_w = J_s$.

b) Abfluss bei gegebener Lage der Energielinie (Abb. 5). Die Höhenlage der Energielinie über der Sohle sei:

$H = t + \frac{v^2}{2g}$ (Rechteck mit Profilbreite b und Wassertiefe t)

da $\quad Q = v F$ und $F = b t$

wird $\quad H = t + \frac{Q^2}{2 g b^2 t^2}$

oder $\quad t^3 - H t^2 + \frac{Q^2}{2 g b^2} = 0.$

Bei gegebener Energielinienlage H und gegebener Wassermenge Q besitzt obige Gleichung, wie *Böss* in seiner Schrift „Berechnung der Wasserspiegellage beim Wechsel des Fliesszustandes" nachweist, zwei positive Wurzeln t und t', d. h. es sind bei gleicher Wassermenge zwei Abflussarten möglich, wobei diejenige mit der grössern Tiefe t als strömend, die andere als schiessend bezeichnet wird.

c) Minimale Lage der Energielinie (Abbildung 6). Sind für die nämliche Wassermenge Q zwei Energielinienhöhen H_1 und H_2 gegeben, so entsprechen ihnen wieder je zwei praktisch in Betracht kommende Wassertiefen t_1 und t_1', bezw. t_2 und t_2', wobei leicht einzusehen ist, dass wenn $H_2 < H_1$ auch $t_2 < t_1$, dagegen $t_2' > t_1'$ sein muss.

Bei abnehmender Energielinienhöhe H nähern sich also die beiden möglichen Abflussarten. Es stellt sich nun die Frage, bis zu welchem Minimalwert H abnehmen kann, damit der Durchfluss überhaupt noch möglich ist.

Aus $H = t + \frac{Q^2}{2 g b^2 t^2}$ wird H ein Minimum für

$\frac{dH}{dt} = 0 = 1 - \frac{Q^2}{g b^2 t^3}$ woraus $t_{kr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$, für recht-

[1]) Eine ähnliche Beziehung zwischen Q und t lässt sich für jedes andere prismatische Gerinne aufstellen.

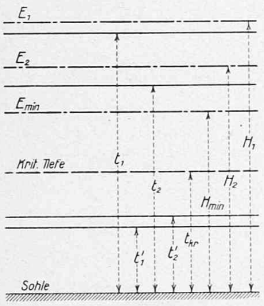


Abb.6

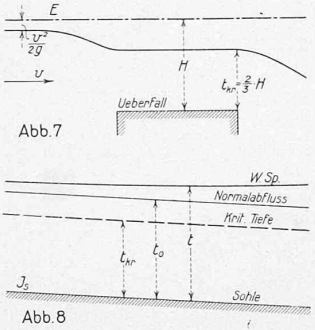


Abb.7

Abb.8

eckige Profile; wir bezeichnen diesen Wert als kritische Tiefe.

$$\left(\text{Für das Trapezprofil ist } t_{kr} = \frac{1}{b + t_{kr}\,\mathrm{ctg}\,\beta}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{g}\,(b + 2\,t_{kr}\,\mathrm{ctg}\,\beta)}\right)$$

(Hierin bedeutet β den Neigungswinkel der Kanalböschung.)

Dabei wird dann für das rechteckige Profil:

$$H_{\min} = t + \frac{Q^2}{2\,g\,b^2\,t_{kr}^2} = \frac{2\,g\,b^2\,t_{kr}^3 + Q^2}{2\,g\,b^2\,t_{kr}^2} = \frac{2\,g\,b^2\,\frac{Q^2}{g\,b^2} + Q^2}{2\,g\,b^2\sqrt[3]{\frac{Q^4}{g^2\,b^4}}}$$

$$H_{\min} = \frac{3}{2}\sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2\,g}} = \frac{3}{2}\,t_{kr}$$

Diesem Minimalwert von H entspricht dann, wie in Abbildung 6 veranschaulicht ist, nur noch ein praktisch möglicher Wert: $t = t_{kr}$.

d) Gesucht die maximale Wassermenge, die bei gegebener Energielinienlage durch das Profil fliesst.

Es ist $H = t + \frac{Q^2}{2\,g\,b^2\,t^2}$ woraus

$$Q^2 = 2\,g\,b^2\,(t^2\,H - t^3)$$

Q wird ein Maximum für $\frac{d\,(Q^2)}{d\,t} = 0$

$$0 = 2\,g\,b^2\,(2\,t\,H - 3\,t^2)$$

$$H = \frac{3}{2}\,t\,.$$

Dieser Ausdruck stimmt aber, wie zu erwarten war, mit dem unter c) abgeleiteten überein, d. h. $t = t_k$. Schon *Belanger* hat für den Ueberfall mit breiter Krone, bei dem die Reibung vernachlässigt wird, die nämliche Beziehung abgeleitet (Abbildung 7, oben).

Die soeben abgeleiteten Sätze lassen sich für jede Profilform verallgemeinern und können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Bei gegebener Wassermenge tritt die tiefstmögliche Lage der Energielinie dann ein, wenn der Abfluss im Profil mit der kritischen Tiefe erfolgt.

2. Bei gegebener Energielinie entspricht der kritischen Tiefe die maximale Abflussmenge.

3. Jedem Profil entspricht bei gegebener Wassermenge eine minimale Höhenlage der Energielinie. Ist diese Minimalhöhe nicht vorhanden, so kann das Profil die gegebene Wassermenge nicht schlucken.

2. Die verschiedenen Abflussmöglichkeiten bei gegebenem Profil.

Forchheimer gibt in seiner „Hydraulik" (1914) und im „Grundriss der Hydraulik" (1920) die Differentialgleichung der ungleichförmigen Bewegung im unendlich breiten rechteckigen Gerinne wie folgt an:

$$J_s\,dx = \frac{t^3 - t_{kr}^3}{t^3 - t_o^3}\,dt$$

worin t_o Wassertiefe beim Normalabfluss

t_{kr} Kritische Tiefe $= t_o\sqrt[3]{\frac{c^2\,J_s}{g}}$ (Abb. 8).

In letzter Formel bedeutet:

J_s das konstante Sohlengefälle des primatischen Bettes.

g die Beschleunigung der Schwere.

c den für jede Wassertiefe als konstant angenommenen Geschwindikeitskoeffizienten in der Chézy'schen Formel, was, wie bekannt, nur innert kleinen Grenzen der Veränderlichkeit der Wassertiefe zulässig ist.

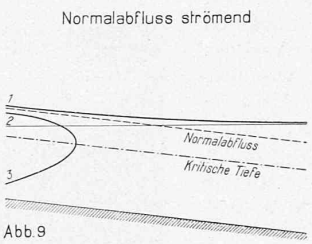


Abb.9

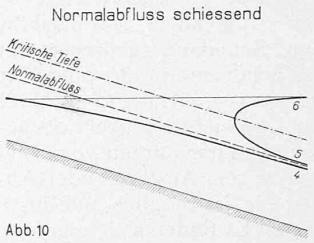


Abb.10

Es ist nun leicht zu zeigen, dass die beiden Werte

$$t_{kr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2\,g}}$$

nach Böss, im rechteckigen Profil, und

$$t_{kr} = t_o\sqrt[3]{\frac{c^2\,J_s}{g}}$$

für rechteckiges Profil mit unendlicher Breite miteinander übereinstimmen. Setzt man nämlich in der Böss'schen Formel den Wert von

$Q = F_o\,v_o$ (Querschnitt mal Geschwindigkeit im Unendlichen)

für den Normalabfluss ein, so erhält man

$$Q = b\,t_o\,c\sqrt{R_o\,J_s}\,.$$

Für unendlich breites Gerinne kann $R_o \simeq t_o$ gesetzt werden, also

$$t_{kr} = \sqrt[3]{\frac{c^2\,J_s\,b^2\,t_o^3}{b^2\,g}} = t_o\sqrt[3]{\frac{c^2\,J_s}{g}}$$

Die beiden Formeln werden also für unendlich breites Gerinne identisch.

Aus der Diskussion der Energielinienlage ist bereits erwähnt worden, dass für eine und dieselbe Wassermenge zwei Abflussmöglichkeiten vorliegen, von denen die eine oberhalb, die andere unterhalb der kritischen Tiefe liegt.

t_o wird $> t_k$ wenn $\frac{c^2\,J_s}{g} < 1$

t_o wird $< t_k$ wenn $\frac{c^2\,J_s}{g} > 1$

Da nun $v_o = c\sqrt{t_o\,J_s}$

können wir auch schreiben $c^2 = \frac{v_o^2}{t_o\,J_s}$

Es wird also $t_o > t_k$ wenn $\frac{v_o^2}{t_o\,g} < 1$, bezw. $v_o < \sqrt{g\,t_o}$

$t_o < t_k$ wenn $v_o > \sqrt{g\,t_o}$

Die beiden Bewegungsarten sind also wie folgt charakterisiert:

Strömend (Fluss): $t_o > t_k$; $\frac{c^2\,J_s}{g} < 1$ oder $v_o < \sqrt{g\,t_o}$

Schiessend (Wildbach): $t_o < t_k$; $\frac{c^2\,J_s}{g} > 1$ oder $v_o > \sqrt{g\,t_o}$

Hier ist $\sqrt{g\,t_o}$ die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit bei der gegebenen Tiefe t_o. Je nachdem die Geschwindigkeit des Wassers, v, grösser oder kleiner ist, als die Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit $\sqrt{g\,t_o}$, ist die Ursache der ungleichförmigen Bewegung oberhalb oder unterhalb des betrachteten Profils zu suchen: Bei der strömenden Bewegung somit unterhalb, bei der schiessenden oberhalb.

a) Bett mit strömendem Normalabfluss (Abbildung 9).

Kurve 1: Gewöhnliche Staukurve; Ursache der ungleichförmigen Bewegung unten, durch künstliche Hebung des Wasserspiegels (Profilverengung oder Erhebung der Sohle, Wehr). Die Berechnung geschieht von einem gegebenen Punkte bei der Profilveränderung aus nach oben. Die Kurve läuft asymptotisch an den Normalabfluss.

Kurve 2: Gewöhnliche Senkungskurve. Die Ursache der Ungleichförmigkeit liegt unten (Profilerweiterung oder Senkung der Sohle). Die Berechnung erstreckt sich von unten nach oben von einem gegebenen Punkte aus, der in der Unstetigkeit des Profils liegt, wobei aber die Senkung niemals tiefer liegen kann als die kritische Tiefe.

Kurve 3: Das Wasser wird im Bett mit strömendem Normalabfluss künstlich zum Schiessen gebracht durch Ausfluss aus Schützenöffnung oder durch Abschuss auf starkem Gefälle (Schusswehr). Ursache der Ungleichförmigkeit oben. Berechnung von oben nach unten von einem gegebenen Punkte des Ausfluss- oder Abschusstrahles aus; sie ist möglich nur bis zur kritischen Tiefe. Es findet sich hier das alte *Bidon*sche Gesetz bestätigt, nach welchem ein Wassersprung eintritt, wenn $t \overline{\overline{<}} \frac{v^2}{g}$ ist (doppelte Geschwindigkeitshöhe). Der Uebergang zum strömenden Abfluss findet dann durch Sprung statt.

Abb. 1. Neubau des Oesterreichischen Verkehrsbureau, links die „Sezession" von Olbrich.

b) Bett mit schiessendem Normalabfluss.

Kurve 4: Verzögerte Bewegung. Die Ursache der Ungleichförmigkeit liegt oben und besteht darin, dass dem Wasser künstlich eine grössere Geschwindigkeit erteilt wird, als dem Normalabfluss im gegebenen Bett entspricht (etwa durch Ausfluss aus Schütze oder Abschuss auf starkem Gefälle). Die Berechnung geschieht von oben nach unten von einem gegebenen Punkt des Ausfluss- oder Abschusstrahles aus und ist bis ins Unendliche durchführbar, da die Kurve asymptotisch zum Normalabfluss verläuft.

Kurve 5: Beschleunigte Bewegung. Die Ursache liegt oben und besteht darin, dass das Wasser beim Eintritt in das betrachtete Bett eine grössere Geschwindigkeit besitzt als dem Normalabfluss entspricht. (Etwa Ausfluss aus Bett mit geringerem Gefälle oder grösserer Rauhigkeit). Die Berechnung ist möglich von oben nach unten von einem gegebenen Punkte des einfliessenden Strahles aus, der aber nicht höher liegen darf als die kritische Tiefe, bis ins Unendliche; die Kurve läuft nach unten asymptotisch an den Normalabfluss.

Kurve 6: Bewegung künstlich zum Strömen gebracht. Die Ursache liegt unten und besteht in einem Aufstau des Wassers im Bett mit schiessendem Abfluss. Berechnung von unten nach oben von einem gegebenen Punkte im Stauprofil aus, aber nur möglich bis zur kritischen Tiefe, da der Uebergang vom Schiessen zum Strömen durch Sprung erfolgt.

3. Kombination beider Gruppen.

a) Uebergang vom Strömen zum Schiessen. Dieser tritt ein entweder durch *Gefällsvergrösserung* (Abbildung 11) oder durch *Rauhigkeitsverminderung* (Abbildung 12). Hier handelt es sich um Vereinigung der Kurven 2 und 5. Die Berechnung der Wasserspiegellage beginnt bei der kritischen Tiefe und verläuft von dort an normal nach oben und unten.

b) Uebergang vom Schiessen zum Strömen, erzeugt entweder durch Verringerung des Gefälles (Abbildung 13) oder durch Vergrösserung der Rauhigkeit (Abbildung 14). Der Uebergang von Kurve 3 zum Normalabfluss kann nur durch Sprung erfolgen; zu suchen ist die Lage des Sprungs. Wir zeichnen zu diesem Zwecke die Energielinien für beide Abflüsse auf. Da das Gefälle der Energielinie proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit ist:

$$J_E = \frac{v^2}{c^2 R}$$

so muss die Energielinie bei der schiessenden Bewegung rascher fallen als die der strömenden. Die beiden Energielinien müssen sich demnach schneiden. Als Sprungstelle kann theoretisch nur der Schnittpunkt der Energielinien in Frage kommen. Tatsächlich wurde abgeleitet, dass für ein und dieselbe Höhenlage der Energielinie zwei Abflussarten möglich sind, von denen eine schiessend, die andere strömend ist. Denkt man sich den Sprung weiter flussabwärts als den Schnittpunkt der Energielinien, so müsste

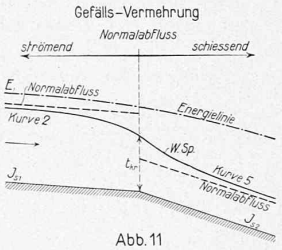


Abb. 11

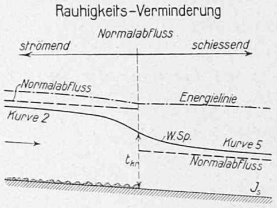


Abb. 12

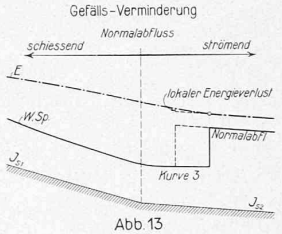


Abb. 13

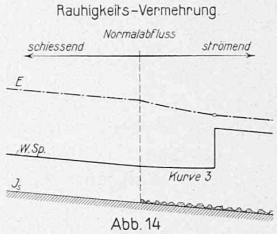


Abb. 14

die Energielinie der schiessenden Bewegung tiefer sein, als jene des strömenden Abflusses, dann wäre aber der letztgenannte unmöglich. Zum gleichen Resultat gelangt man auch, wenn man den Sprung weiter flussaufwärts annimmt. Nur wenn durch den Wassersprung ein plötzlicher Energie-Verlust eintritt, rückt die tatsächliche Sprungstelle etwas flussaufwärts.

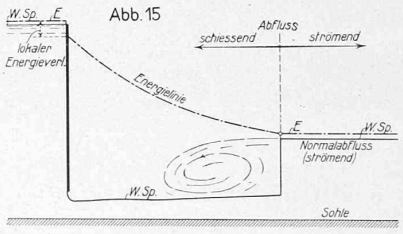


Abb. 15

c) Ausfluss aus einer Wehröffnung mit gehobenen Schützen (Abb. 15). Es liegt hier der gleiche Fall vor wie unter b), nur mit dem Unterschied, dass die schiessende Bewegung durch den Aufstau hinter der Schütze erzeugt wird.

Bei grosser Wassertiefe des strömenden Normalabflusses tritt nun die Erscheinung der „Deckwalze" ein. Diese Walze hat zur Folge, dass viel Energie vernichtet wird; die Energielinie des Ausflusstrahles fällt deshalb rascher, der Sprung tritt früher ein. Das Problem der Bestimmung der Länge des Abfallbodens eines Stauwehres

Abb. 2. Oesterreichisches Verkehrsbureau in Wien. Architekten Schmid & Aichinger.

läuft somit darauf hinaus, den Energie-Entzug durch die Deckwalze zu bestimmen. Sobald diese Aufgabe gelöst ist, kann die Wehrform berechnet werden.

Günstig scheint nach den bisherigen Erfahrungen die Ausbildung eines Gegengefälles zu sein, ferner die Ausbildung einer sehr rauhen Oberfläche, Chicanen und dergl. Auch die günstige Wirkung der neuesten Ausführungen der Flossfedern und der feststehenden durchlochten Abfallböden lässt sich aus der Vermehrung der Rauhigkeit, also raschen Abfall der Energielinie erklären. (Schluss folgt.)

Moderne Wiener Architektur.

Von Arch. W. J. Tobler, Wien.

[Der Verfasser nachfolgender Ausführungen, ein seit mehreren Jahren in Wien ansässiger und tätiger Schweizer Architekt und G. E. P.-Kollege, wurde dazu angeregt, durch unsere verschiedenen Berichte über die ausländischen Architekturströmungen der Gegegenwart. Er will im gleichen Sinn einen Beitrag liefern über die Wiener Architektur-Entwicklung. Sein Manuskript lief ungefähr gleichzeitig ein mit Peter Meyers Besprechung der „Schlafzimmer" im Literaturteil dieser Nummer (vergl. Seite 13). Beide Autoren nahmen Kenntnis von ihren gegenseitigen, teilweise von einander abweichenden Ansichten, fühlten sich indessen dadurch nicht veranlasst, ihre persönliche Meinungs-Aeusserung zu ändern, sodass es dem Leser überlassen bleibt, welcher Seite er sich anschliessen will. Die gleichzeitige Veröffentlichung entspricht unserem Grundsatz, dem Ausdruck jeder korrekt vorgebrachten Meinung nach Möglichkeit Raum zu gewähren, sofern dies zur Abklärung beiträgt. Die Redaktion.]

Die Baukunst Wiens und damit Oesterreichs traute sich massvoll von jeher zu, ihren Weg zu finden, ohne ihre Eigenart den Experimenten internationaler Strömungen bedingungslos zu opfern. In einem heute befreit von den bisherigen Fesseln sich auswirkenden Subjektivismus zeigt sie entschieden ein einheitliches Gesicht. Der architektonische Subjektivismus ist für Wien nichts Neues oder gar Importiertes, sein Gepräge ist jedoch in der Vorkriegszeit nicht so feststellbar gewesen wie heute, wo politische Faktoren das ihrige getan haben, ihn zu fördern. Damit ist zwar noch nicht gesagt, dass nun unbedingt Einheitlichkeit entstehen müsse: Diese Einheitlichkeit kommt vielmehr davon, dass man eben auf die freiwerdenden Bahnen architektonischen Gestaltens von früher her gewissermassen vorbereitet war.

Trotz aller Hochhaltung der bisherigen Tradition durch Herrscherhaus und Staat war hier stets ein Wille vorhanden, es dem Beispiel der auf Schritt und Tritt vorhandenen Bauten aus vergangener Zeit[1]) nicht blind nachzutun und nicht Sklave ihrer Grosszügigkeit oder Ausdrucksklarheit zu werden. Man wollte mehr im deduktiven Sinn das Neue aus dem Alten bilden. In der Welle traditioneller Architekturnachahmung führte aber sein Streben nicht zu vollkommenern Resultaten als den bestehenden. Obwohl man sich nicht vorurteilslos von der Monumentalität dieser Bauten verblüffen liess, sondern mehr die zwecklose Schönheit ihrer Form, ihrer Ornamentik kritisch verarbeiten wollte, entstand daraus im grossen Ganzen kein Aufschwung; die Wiener Architektur hat vielmehr vor dem Krieg eine Zeit der Indifferenz durchgemacht. Auch Ostendorfs Lehren konnten daran nicht viel ändern. Sie fanden, geklärt durch die eigenen Erfahrungen, nur schwache Aufnahme, jedoch konnte ihnen nichts Sicheres entgegengesetzt werden. Man empfand, dass man auf einem Tiefstand angelangt war, und daran konnten auch die grossen Aufträge der höfischen Bauherren mit ihrem Festhalten an traditioneller Formgebung nichts ändern. — Diese Bauten wurden zwar hier formal nie so kanonisch durchgebildet, wie in gewissen andern Ländern, denn die lebendige Wesensart der Gesinnung hat auch die Forderung der überlieferten Form nur bedingt aufgenommen, aber mehr als wieder Tradition ging daraus doch nicht hervor. Der Erfolg war, dass diese desto eher erhalten blieb, im Gegensatz zu jenen andern Ländern, wo sie an sich selber sich zerstörte und damit dem Einzug neuer Formversuche elementarer Art die Tore öffnete.

Zwar wollten einzelne Gruppen in neuerer Zeit von diesem bedingt traditionellen Bauen nichts mehr wissen. Sie suchten frei nach ihrem Empfinden in die Probleme der Bauaufgaben sich zu vertiefen und in subjektiver Weise die Lösungen zu gestalten. Leider gingen die grossen Aufträge meistens an ihren Vorschlägen vorüber, sie konnten selten zum Bauen gelangen, und ihre Erfolge schienen mit den Jahren zu verebben. Da kam ihnen 1918 der Umsturz der Staatsform zugute, der die Ueberlieferung sozusagen von Amts wegen an den Nagel hängte und den Einzelwillen zum treibenden Faktor der Baukunst ernannte.

Ein Resultat war vorerst allerdings nicht zu ersehen, denn an Ausführungen fehlte es volle drei Jahre gänzlich, ein schwerer Mangel gegenüber dem kräftig gebliebenen Pulsschlag anderer Länder! Solche Pausen ausführungsarmer Zeiten bringen nicht nur keine neuen Resultate hervor, sondern sind sogar meist Zeiten des Niederganges für die Architektur; aus ihnen faktisch hochzukommen, gelingt nicht leicht und führt bei plötzlich wieder wachsender ungehemmter Bautätigkeit gerne zu Exzessen, wenn nicht der Boden schon irgendwie vorbereitet ist.

In Oesterreich war dies jedoch, wie gesagt, der Fall, und zwar in ganz realer Weise. Ich denke da an die „Sezession", die sich zu Beginn des Jahrhunderts aus der akademischen Generation losriss und die Devise hatte, Erscheinung und Einzelform lediglich aus dem Gefühl heraus aufzubauen. Diese Sezession hat den Boden vorbereitet. Daraus ist es zu erklären, dass die heutigen Wiener Architekturleistungen trotz der politischen Revolution keineswegs den Stempel revolutionärer, vergänglicher Tätigkeit

[1]) „Alt Wiener Architekturen", «S. B. Z.» vom 31. Juli 1920. Red.