

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 67 (1949)  
**Heft:** 3: Zum Rücktritt von Schulrats-Präsident Rohn

**Artikel:** Eine Formel zur Berechnung des Geschiebetriebs  
**Autor:** Meyer-Peter, E. / Müller, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-83975>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

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

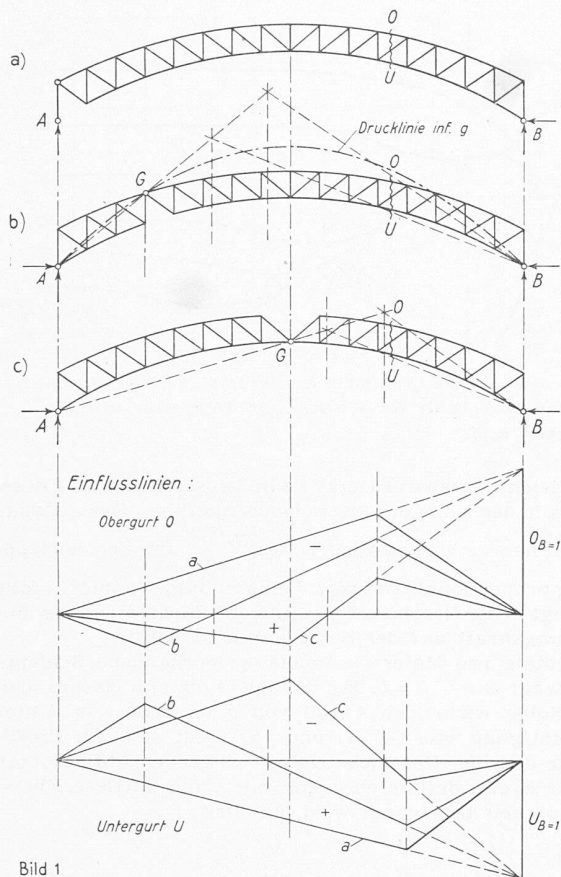


Bild 1

Horizontalschubes mit Hilfe eines an einem Hebel wirkenden Gewichtes zu verhindern gesucht<sup>2)</sup>.

Durch Einschalten eines Gelenkes im Obergurt eines Fachwerkbalkens, wobei selbstverständlich gleichzeitig das bewegliche Auflager durch ein festes zu ersetzen ist, kann in einem solchen Fall ein natürlicher Horizontalschub erzeugt werden. Dieser Horizontalschub entspricht in seiner Grösse der Stabkraft im ausfallenden, zum Gelenk als Drehpol zugehörigen Untergurt. Bei gegebener Gelenklage ist dieser Horizontalschub somit je nach der Belastung (Eigen-gewicht und Verkehrslast) veränderlich zwischen den beiden Grenzwerten der ausgefallenen Untergurtstabkraft. Durch passende Wahl der Gelenklage, unter entsprechender Strebenführung, kann die Horizontalkomponente der Auflagerkraft aus ständiger Last dem Gewölbeschub der Anschlussviadukte angepasst werden.

In Bild 2 sind diese Verhältnisse an einem Beispiel skizziert. Die Stabkräfte in Obergurt und Füllungsgliedern der beiden Tragwerke Bild 2a und 2b sind gleich gross; die Obergurtstabkräfte werden nicht verändert, weil die horizontale Auflagerkraftkomponente die Drehpole der Obergurte schneidet und die Strebenkräfte werden nicht verändert, weil dieser Horizontalschub die Gleichgewichtsbedingungen der Komponenten der lotrechten Schnittkräfte nicht beeinflusst. Da aber die Untergurtstabkräfte um den Betrag des Horizontalschubes verkleinert werden, ist das Tragwerk von Bild 2b leichter und damit wirtschaftlicher als der einfache Balken nach Bild 2a.

Eine Verkleinerung der Obergurtstabkräfte ist auf einfache Weise möglich durch ein Tiefersetzen der Auflagerpunkte nach Bild 2c. Die Untergurtstabkräfte werden dadurch nicht beeinflusst. Die Wirkungsweise der drei Tragwerke ist durch die Einflusslinien je einer Obergurt- und Untergurtstabkraft in Bild 2 noch etwas näher veranschaulicht.

3. Der in diesen beiden Beispielen, Bild 1 und Bild 2, skizzierte unsymmetrische Dreigelenkbogen besitzt ein ähnliches Kräftespiel wie ein einfacher Balken mit beweglichem Auflager auf geneigter Verschiebungsbahn. Auch hier kann die Grösse des Horizontalschubes beliebig gewählt werden durch entsprechende Wahl des Neigungswinkels  $\alpha$  der Verschiebungsbahn. Dagegen hat diese Tragwerksform den Nach-

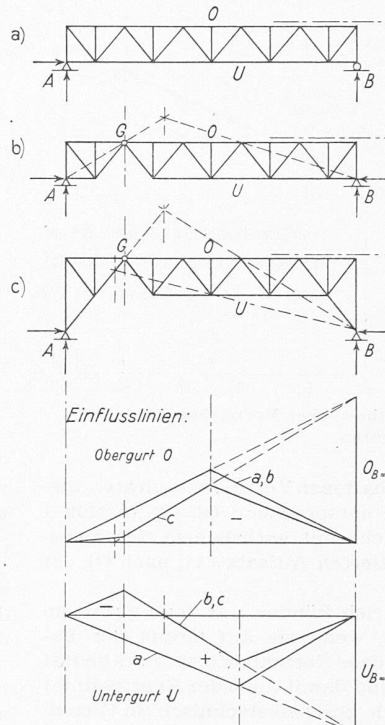


Bild 2

sonderen Fällen möglich ist, durch einfache baustatische Ueberlegungen eine zweckmässige und den Besonderheiten des Einzelfalles anpassbare Lösung zu finden. Der dargestellte unsymmetrische Dreigelenkbogen besitzt den Vorzug eines innert bestimmter Grenzen wählbaren Horizontalschubes bei günstigem Konstruktionsgewicht und er dürfte deshalb in Sonderfällen eine wirtschaftlich interessante Lösungsmöglichkeit, sowohl im Brückenbau wie im Hochbau, darstellen.

## Eine Formel zur Berechnung des Geschiebetriebs

Von Prof. Dr. E. MEYER-PETER und Prof. Dr. R. MÜLLER, Zürich  
DK 627.157

Das Studium der Bewegung der losen Bestandteile einer natürlichen Flusssohle, die man als Geschiebetrieb bezeichnet, bildet die unerlässliche Grundlage für die Projektierung und Durchführung von Flussregulierungen und anderer Wasserbauten (Bild 4). Im Jahre 1934 veröffentlichte die Versuchsanstalt für Wasserbau an der E.T.H. auf Grund mehrjähriger Versuche ihre erste Geschiebetriebformel [1]<sup>1)</sup>. Es handelt sich um den Zusammenhang zwischen den in einem Flussgerinne vorhandenen hydraulischen Gegebenheiten: dem spezifischen Abfluss pro Meter Flussbreite  $q_s$  in kg/ms, sowie dem Energieliniengefälle  $J$  einerseits und der pro Meter Flussbreite geförderten Geschiebemenge  $g_s$  in kg/ms Trockengewicht, bzw.  $g_s''$  in kg/ms unter Wasser gewogen, bei einer bestimmten — vorhanden einheitlichen — Korngrösse  $d$  in Metern, andererseits.

Für Geschiebe mit normalem spezifischem Gewicht, Mittelwert  $\gamma_s = 2,68 \text{ t/m}^3$ , ergab der Ausdruck

$$(1) \quad \begin{cases} \frac{q_s^{2/3} J}{d} = a + b \frac{g_s^{2/3}}{d} \\ \text{bzw.} \quad \frac{q_s^{2/3} J}{d} = a + b' \frac{g_s''^{2/3}}{d} \end{cases}$$

mit  $a = 17$  und  $b = 0,4$  bzw.  $b' = 0,547$  befriedigende Ergebnisse.

Die Fortführung der Versuche mit Geschiebe anderer spezifischer Gewichte, nämlich mit Baryt ( $\gamma_s = 4,2$ ) und Braunkohlengruss ( $\gamma_s = 1,25$ ), führte dazu, eine für alle drei Materialien gültige Formel aufzustellen [2]:

$$(2) \quad \frac{q_s^{2/3} J}{d} = a'' \gamma_s'^{10/9} + b'' \gamma_s'^{1/3} \frac{g_s''^{2/3}}{d}$$

mit  $\gamma_s' = \gamma_s - \gamma$  (unter Wasser gewogen),  $a'' = 9,57$  und  $b'' = 0,462$ .

<sup>2)</sup> SBZ Bd. 83, S. 287\* ff. und Bd. 84, S. 246\* (1924).

<sup>1)</sup> Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

teil, dass bei veränderlicher Belastung, bei Temperaturänderungen und bei Widerlagerverschiebungen das bewegliche Lager sich nicht nur in lotrechter, sondern auch in waagrechter Richtung verschiebt. Dies führt beispielsweise bei Brücken zu konstruktiven Schwierigkeiten beim Uebergang von der Brücke zum Widerlager. Würde das bewegliche Lager als geneigte Pendelstütze ausgebildet, so müsste eine Widerlagerverschiebung bei kurzer Pendelstütze ihre Neigung und damit das Kräftespiel merklich beeinflussen. Eine solche Empfindlichkeit gegen Widerlagerverschiebungen besteht beim unsymmetrischen Dreigelenkbogen (Bild 1b, 2b, 2c), abgesehen von extremer, praktisch nicht interessanter Gelenkanordnung, nicht.

4. Die beiden Beispiele Bild 1b und 2b dürften zeigen, dass es oft in be-

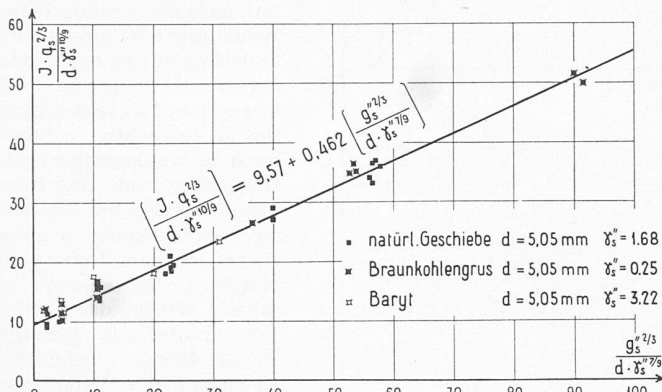


Bild 1. Geschiebetrieb mit einheitlicher Korngrösse, aber verschiedenen spezifischen Gewichten

Eine Auswahl der vielen erhaltenen Versuchsergebnisse – diejenigen mit  $d = 0,005 \text{ m}$  – ist entsprechend Gl. (2) in Bild 1 aufgetragen. Die vielen Versuche mit natürlichem Geschiebmaterial wurden schon im zitierten Aufsatz [1], nach Gl. (2) ausgewertet, dargestellt.

Versuche über Geschiebetrieb können nur dann zu einem brauchbaren Resultat führen, wenn sie auf Grund der Bedingung durchgeführt werden, dass Normalabfluss (Parallelität von Sohle und Wasserspiegel und damit auch der Energielinie) besteht und dass die Sohle sich geschiebetechnisch im Gleichgewicht befindet (Gleichheit der in die Versuchsstrecke eintretenden und daraus austretenden Geschiebemengen). Die Erreichung des Gleichgewichts- (Beharrungs-) Zustandes erfordert sehr lange Versuchsdauern. Zu diesen rein experimentellen Schwierigkeiten kommt eine weitere, die Bestimmung desjenigen Anteils der gesamten Stromarbeit, welche für die Ueberwindung der Reibung an der Gerinnesohle, also für den Geschiebetransport, aufgewendet wird. Denn im Laboratorium können die Versuche nur in einem relativ schmalen Gerinne ausgeführt werden, in dem ein erheblicher Teil der Stromarbeit durch Reibung an den Wänden vernichtet wird. Die Versuchsanstalt verwendet für die Trennung der Energiemengen in die genannten Teile eine bereits 1934 veröffentlichte Methode [3]. Bezeichnet man in einem rechteckigen Versuchsgerinne mit  $B$  die Breite und mit  $h$  die Wassertiefe und verwendet für die Berechnung der Fließgeschwindigkeit die Formel von Strickler [4] mit  $k_m$  als über den ganzen benetzten Umfang gemitteltem Rauigkeitsbeiwert, während die Wandungen, bzw. die Sohle,  $k$ -Werte von  $k_w$  bzw.  $k_s$  aufweisen, so ergibt sich unter den von A. Einstein gemachten vereinfachenden Annahmen für den Rauigkeitsbeiwert der Sohle der Ausdruck:

$$(3) \quad k_s = \frac{k_m k_w B^{2/3}}{[B k_w^{3/2} + 2h(k_w^{3/2} - k_m^{3/2})]^{2/3}}$$

Daraus berechnet sich die in die Geschiebetriebsformel einzuführende spezifische Abflussmenge  $q_s$  zu:

$$(4) \quad q_s = Q \frac{k_w^{3/2}}{2h k_s^{3/2} + B k_w^{3/2}}$$

und die für den gesamten Geschiebetrieb in Betracht kommende Teilwassermenge  $Q_s$  zu:

$$(5) \quad Q_s = q_s B$$

Die Resultate der seit 1934 durchgeführten Untersuchungen sind nachstehend zusammengefasst. Eine ausführlichere Darstellung mit Angabe der detaillierten Versuchsbedingungen und Resultate wird demnächst im Bericht über die dritte Tagung der Internationalen Vereinigung für wasserbauliches Versuchswesen, Stockholm 1948, erscheinen [5].

Für die Anwendung auf praktische Aufgaben ist es notwendig, die früheren Versuche mit einheitlicher Korngrösse durch solche mit Geschiebegemischen zu ergänzen. Zahlreiche, langdauernde Versuche zeigen nun aber gegenüber den Gleichungen (1) und (2) starke Abweichungen. Durch Division der Gleichungen (1) und (2) mit  $g^{1/3}$  ( $g$  = Beschleunigung der Schwere) werden die Konstanten der rechten Seite dimensionslos. Der Ausdruck  $\frac{q_s^{2/3}}{g^{1/3}}$  stellt nun die kritische Tiefe (Uebergang vom Strömen zum Schiessen) dar. Die früheren Versuche mit relativ grobem Geschiebe wurden zwecks Er-

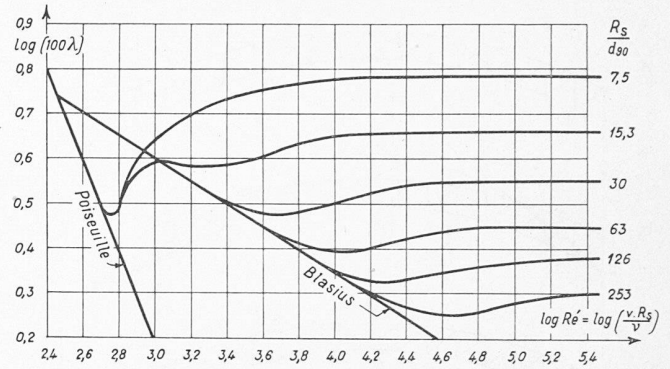


Bild 2. Nikuradse's Diagramm des Widerstandsbeiwerts mit Reynolds'scher Zahl:  $Re' = v R_s / \nu$  und reziproker relativer Rauigkeit  $R_s / d_{90}$

reichung leicht messbarer Gefälle zum grossen Teil mit Fließzuständen in der Nähe des kritischen ausgeführt. Der Gedanke liegt somit nahe, statt des Ausdruckes  $\frac{q_s^{2/3} J}{g^{1/3}}$  die der Schleppspannung proportionale Grösse  $h J$  einzuführen, wodurch – falls dies gelingt – die Geschiebebewegung in Zusammenhang mit der Reibungskraft auf der Sohle gebracht würde.

Die totale pro Meter Gerinnelänge vorhandene Schleppkraft beträgt  $S = \gamma B h J$ . Es handelt sich nun darum, den auf die Sohle wirkenden Anteil von  $S$  zu ermitteln. Unter Berücksichtigung von Gl. (4) und (5) lässt sich ein Profilradius für den den Geschiebetrieb bewirkenden Abflussanteil pro Meter Breite definieren, wenn mit  $v$  die mittlere Fließgeschwindigkeit bezeichnet wird, nämlich:

$$(6) \quad R_s = \frac{Q_s}{B v} = \frac{Q_s}{B} \frac{B h}{Q} = \frac{Q_s}{Q} h,$$

so dass die Schleppkraft pro Meter Gerinnebreite (Schleppspannung) den Ausdruck erhält:

$$(7) \quad \tau = \gamma R_s J = \gamma \frac{Q_s}{Q} h J$$

Eine weitere noch abzuklärende Frage im Zusammenhang mit den Versuchen mit Korngemischen ist die Definition des in die Geschiebetriebsformel einzuführenden, das Gemisch charakterisierenden Korndurchmessers  $d$ . Grundsätzlich sind unzählige Mischungen der verschiedenen zwischen den Grenzen Null und  $d_{max}$  liegenden Korngrössen denkbar. Die vielen zur Verfügung stehenden Kornanalysen natürlicher Geschiebe zeigen aber, dass sie, als Summenlinien der Gewichts-%-Anteile der Kornkategorien dargestellt, mit einiger Annäherung affine Kornverteilungskurven ergeben. Die natürlichen Mischungen

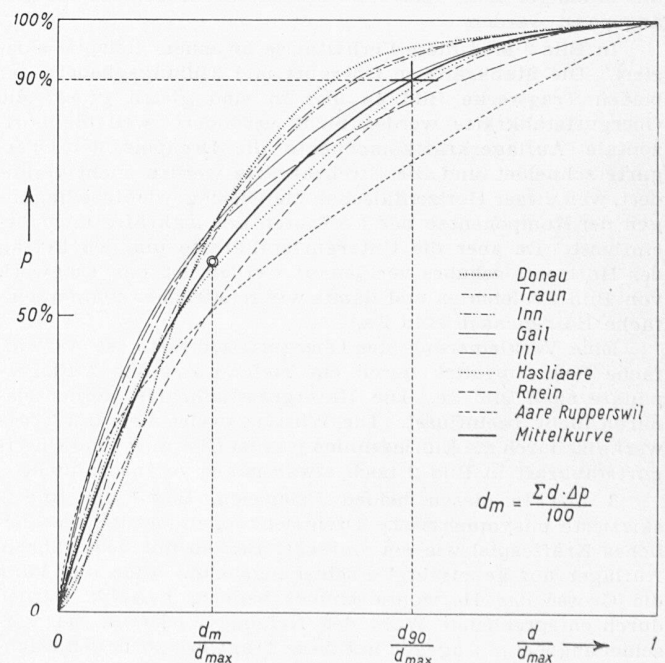


Bild 3. Kornverteilungskurven (Relativwerte) einiger Flüsse



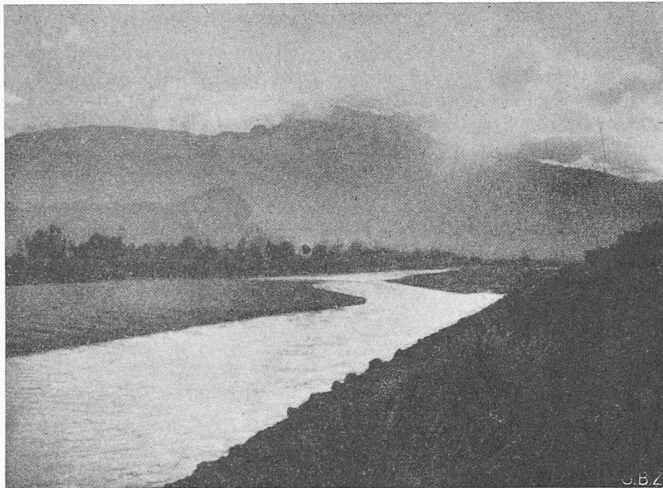


Bild 4. Kiesbänke am Rhein, nordöstlich Trübbach

können also durch einen einzigen Parameter näherungsweise charakterisiert werden. Nach verschiedenen Vergleichsrechnungen wird als massgebender Korndurchmesser [6] gewählt (Bild 3):

$$8) \quad \bar{d}_m = \frac{\Sigma d \Delta p}{100}$$

Die von der Versuchsanstalt seit den Veröffentlichungen vom Jahre 1934 durchgeführten Versuche mit Gemischen wurden nun zunächst auf Grund des Ansatzes:

$$(9) \quad \frac{\gamma R_s J}{\bar{d}_m} = c_1 + c_2 \frac{g_s''^{2/3}}{\bar{d}_m},$$

an Stelle von Gl. (1) und (2), zusammen mit den früheren Versuchen mit einheitlicher Korngrösse ausgewertet. Es zeigten sich aber auch nach dieser Methode noch erhebliche Abweichungen, insbesondere bei den Versuchen mit feinem Geschiebe (0,4 mm) und bei denjenigen mit grossen Unebenheiten der Flusssohle. In diesen Versuchen ist der Transport bedeutend geringer als nach Gl. (9), was darauf hindeutet, dass die Riffel- und Bankbildung und die dadurch bedingte Unebenheit der Sohle als den Transport hindernde Faktoren zu berücksichtigen sind. Dies gibt Anlass zu einer Aufteilung des vorhandenen Energiegefälles, nämlich in einen reinen Reibungsanteil und einen von der Sohlenkonfiguration im grossen abhängenden Formanteil [7]. Immer unter Anwendung der Strickler'schen Fließformel kann das totale Gefälle, soweit es für den Geschiebetrieb in Frage kommt, durch

$$(10) \quad J = \frac{v^2}{k_s^2 R_s^{4/3}}$$

und das reine Reibungsgefälle durch

$$(11) \quad J_r = \frac{v^2}{k_r^2 R_s^{4/3}}$$

ausgedrückt werden. Der Ansatz (9) wäre also durch Einführung des Wertes  $J_r$  an Stelle von  $J$  zu korrigieren, wenn man nur auf denjenigen Energieverlust Rücksicht nimmt, der durch Wirbelbildung an den Geschiebekörnern selbst entsteht. Man erhält also

$$(12) \quad \gamma \frac{R_s J_r}{\bar{d}_m} = \gamma \left( \frac{k_s}{k_r} \right)^2 \frac{R_s J}{\bar{d}_m} = c_3 + c_4 \frac{g_s''^{2/3}}{\bar{d}_m}$$

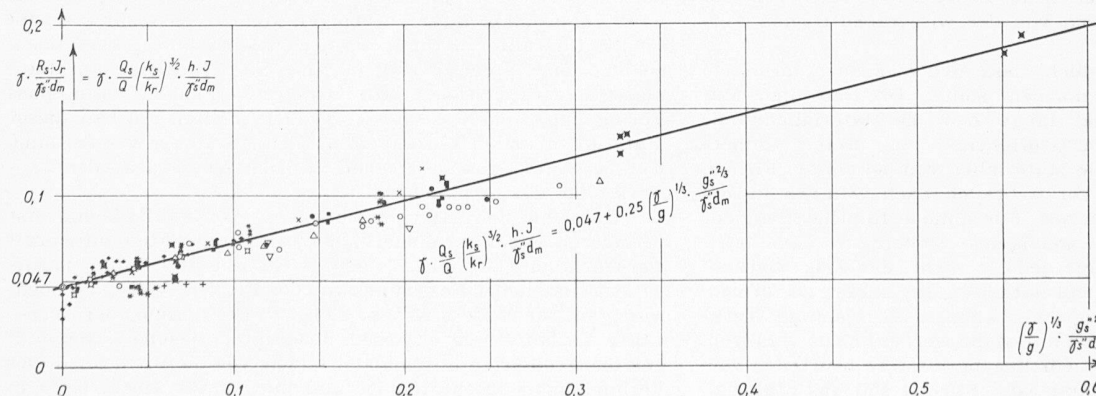


Bild 5. Geschiebetrieb mit einheitlicher Korngrösse und mit Gemischen; verschiedene spezifische Gewichte (Signaturen siehe Tabelle 1)

Es ist klar, dass diese letzte Ueberlegung, d. h. die Anwendung des Strickler'schen Gesetzes auf Teilgefälle, bloss eine Grössenordnung des in Gl. (12) enthaltenen Exponenten des Wertes  $k_s/k_r$  ergeben kann. Nur die Auswertung der Versuche kann die Wahl dieses Exponenten festlegen.

Zur Ermittlung des Wertes von  $k_r$  steht von vornherein nicht fest, welche Korngrösse des Gemisches massgebend ist. Da aber Versuche mit praktisch ebener Flusssohle zur Verfügung stehen, für welche  $k_r = k_s$  ist, andererseits aber  $k_s$  direkt aus den Versuchen berechnet werden kann, ergibt sich, dass die gröberen Bestandteile des Gemisches für die Reibungsverluste massgebend sind, nämlich sehr annähernd der aus Bild 3 ersichtliche Wert  $\bar{d}_{90}$  (90% des Gemisches feiner als  $\bar{d}_{90}$ ).

Nunmehr kann zur Bestimmung des Wertes von  $k_r$  das bekannte Diagramm von Nikuradse [8], welches den Widerstandskoeffizienten  $\lambda$  in Funktion der Reynolds'schen Zahl  $R_e$  angibt, benützt, bzw. für die hier gewählten Definitionen für relative Rauigkeit  $\bar{d}_{90}/R_s$  und Reynolds'sche Zahl  $R_e' = v R_s/\nu$  umgerechnet werden (Bild 2). Es ist dann:

$$(13) \quad k_r = \left( \frac{8g}{\lambda} \right)^{1/2} \frac{1}{R_s^{1/6}}$$

Für voll ausgebildete Turbulenz bestätigt das Diagramm den Ansatz von Strickler [4]:

$$(13a) \quad k_r = \frac{c}{\bar{d}_{90}^{1/6}}, \text{ mit } c \cong 26 \text{ für } d \text{ in m und } k_r \text{ in m}^{1/3}/s$$

Auf Grund der nach Gl. (12) erfolgten Auswertung sehr zahlreicher Versuche unter verschiedenen Bedingungen zeigt es sich nun, dass für Geschiebe natürlichen spezifischen Gewichtes folgende Form die beste Uebereinstimmung ergibt:

$$(14) \quad \gamma \frac{R_s J_r}{\bar{d}_m} = \gamma \left( \frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2} \frac{Q_s}{Q} \frac{h J}{\bar{d}_m} = A + B' \frac{g_s''^{2/3}}{\bar{d}_m}$$

worin gemäss Gl. (6)  $R_s = h Q_s/Q$  gesetzt wird.

Die Erweiterung dieser Formel auf Geschiebe andern spezifischen Gewichtes (Baryt und Braunkohlengrus) bringt nun, wie nach früheren Versuchen zu erwarten war, keine besonderen Schwierigkeiten, so dass der Ausdruck

Tabelle 1. Zusammenstellung sämtlicher Versuche, Hauptdaten und Signaturen in Bild 5

Sign. in Bild 5	B m	J ‰	Q l/s	Q <sub>s</sub> l/ms	$\bar{d}_m$ mm	$\gamma''_s$ t/m <sup>3</sup>	Sohle und Beschreibung	Anzahl der Einzelversuche
•	2	8	100 ÷ 250	48,5 ÷ 120	~ 4,5	1,68	Mischung	7
o	2	2 ÷ 3	70 ÷ 330	34 ÷ 150	1,7 ÷ 2,0	1,68	"	17
+	2	1	100 ÷ 180	46 ÷ 84	1	1,68	"	3
x	2	0,4	200 ÷ 550	90 ÷ 230	0,4	1,68	"	5
Δ	0,65	2 ÷ 4	15 ÷ 60	20 ÷ 76	1,3 ÷ 1,4	1,68	"	6
△	0,65	16	2,5	3,8	1,5	1,68	"	1
▽	0,3	16,5	1,2	3,9	1,4	1,68	"	1
▽	0,15	20	0,6 ÷ 1	4 ÷ 6,7	1,4 ÷ 1,6	1,68	"	2
◆	0,5	2,7	15 ÷ 93	26 ÷ 132	2,7 ÷ 4	1,68	"	24
*	2	3 ÷ 17,7	1600 ÷ 4600	700 ÷ 2000	28,65	1,68	"	33
■	0,354	3 ÷ 23	22 ÷ 82	53 ÷ 180	5,2	1,68	) einheitl. Korngrösse	20
■	0,354	1,3 ÷ 10,6	0,8 ÷ 21,6	2,1 ÷ 52	5,2	0,25		12
□	0,354	5,8 ÷ 23	21 ÷ 82	54 ÷ 180	5,2	3,22		8

1) Briketgrus 2) Baryt

$$(15) \quad \gamma \frac{R_s J_r}{\gamma_s'' d_m} = \gamma \frac{Q_s}{Q} \left( \frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2} \frac{h J}{\gamma_s'' d_m} \\ = A'' + B'' \left( \frac{\gamma}{g} \right)^{1/3} \frac{g_s''^{2/3}}{\gamma_s'' d_m}$$

mit den dimensionslosen Konstanten

$$A'' = 0,047, \quad B'' = 0,25$$

als *neue Geschiebetretriebsformel* aufgestellt werden kann. Sie gibt bei der Auswertung der Versuchsergebnisse, die in Bild 5 dargestellt sind, für praktische Bedürfnisse befriedigende Übereinstimmung: Der Wert

$$A'' = \left( \frac{\gamma R_s J_r}{\gamma_s'' d_m} \right)_0 = \frac{\tau_0}{\gamma_s'' d_m}$$

gibt ein Mass für die Schleppspannung beim Beginn des Geschiebetretriebs. Die Zahl 0,047 entspricht der Extrapolation der in Bild 5 dargestellten linearen Funktion. Die direkte Feststellung dieses Grenzwertes ist, wie diejenige des Geschiebetretriebs in der Nähe des Grenzwertes, stets recht subjektiv. Als unterste

Grenze für absolute Ruhe muss etwa mit  $\frac{\tau_0}{\gamma_s'' d_m} = 0,03$  gerechnet werden, was mit den Versuchen von Shields übereinstimmt [9]. Es mag erwähnt werden, dass Versuche über Kolkwirkung unterhalb von Stauwehren zu der analogen Beziehung führten:  $\tau_0 = 0,045 \gamma_s'' d_{90}$ , worin nun an Stelle von  $d_m$  der Wert  $d_{90}$  deshalb zu setzen ist, weil es sich um den Grenzzustand eines infolge der Erosion entstandenen bedeutend gröberen Korngemisches handelt, nämlich um eine natürliche Pflasterung der Sohle der Kolkwanne [10]. In [11] wird speziell versucht, das Erosionsproblem unterhalb von Stauwehren in direkten Zusammenhang mit dem Geschiebetrrieb Gl. (15) zu bringen.

Die durchgeführten Versuche erstrecken sich über folgende Bereiche: Gefälle  $J$  von 0,4 bis 20‰, Korngrösse von 0,0004 bis 0,03 m, Wassertiefen von 0,01 bis 1,2 m, Abflussmengen von 0,002 bis 2,0 m<sup>3</sup>/s, spezifische Gewichte von 1,25 bis 4,2 t/m<sup>3</sup>. Die vorhandenen Versuchseinrichtungen gestatteten,

den Wert  $\frac{\gamma R_s J_r}{\gamma_s'' d_m}$  vom untern Grenzwert der Ruhe bis auf 0,2 zu steigern. Gegenwärtig wird die Versuchseinrichtung zur weiteren Steigerung dieser Zahl ausgebaut, um den Verhältnissen bei Flachlandflüssen (sehr feines Geschiebe, grosse Wassertiefen, kleines Gefälle) möglichst nahezukommen. Die in Ausführung begriffene Erweiterung der Versuchsanstalt [12], die eine Verdoppelung der Länge des Versuchsgewässers umfasst, wird wegen grösserer Genauigkeit der Gefällsmessung diese Versuchsarbeit wesentlich unterstützen.

#### Literaturangaben

- [1] SBZ Bd. 103, Nr. 13, E. Meyer-Peter, H. Favre und A. Einstein: «Neuere Versuche über den Geschiebetrrieb.»
- [2] Annales des Ponts et Chaussées 1935, H. Favre: «Recherches expérimentales sur les débits solides dans les cours d'eau.»
- [3] SBZ Bd. 103, Nr. 8, A. Einstein: «Der hydraulische oder Profilradius.»
- [4] Mitteilung Nr. 16 des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft 1923. A. Strickler: «Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahlen...»
- [5] Internationaler Verband für Wasserbauliches Versuchswesen, Bericht über die dritte Tagung, Stockholm, 1948. E. Meyer-Peter und R. Müller: «Formulas for Bed Load Transport.»
- [6] Mitteilung Nr. 4 der Versuchsanstalt für Wasserbau 1943. R. Müller: «Theoretische Grundlagen der Fluss- und Wildbachverbauungen.»
- [7] Schweizer Archiv 1939, Nr. 8, A. H. Einstein und R. Müller: «Ueber die Ähnlichkeit bei flussbaulichen Modellversuchen.»
- [8] VDI Forschungsheft 361, Berlin 1933. Nikuradse: «Strömungsgesetze in rauen Röhren.»
- [9] Mitteilungen der preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffsbau, Berlin 1936, Heft 26. Shields: «Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung.»
- [10] Mitteilung Nr. 5 der Versuchsanstalt für Wasserbau 1944. «Experimentelle und theoretische Untersuchungen über das Kolkproblem». R. Müller: «Die Kolkbildung bei reinem Unterströmen und allgemeinere Behandlung des Kolkproblems.»
- [11] Internationaler Verband für Wasserbauliches Versuchswesen, Bericht über die dritte Tagung, Stockholm 1948. E. Meyer-Peter und R. Müller: «Affouillements en aval des barrages.»
- [12] SBZ, 66. Jahrgang, Nr. 14, S. 4. 48: «Bauvorhaben der Eidg. Technischen Hochschule in Zürich.»

## Die Bedeutung der Kristallchemie für den Ingenieur

Von Prof. Dr. E. BRANDENBERGER und Prof. Dr. P. NIGGLI, Zürich

DK 548 3

Die Wechselbeziehung zwischen reiner und angewandter Forschung, Wissenschaft und Technik ist derartig innig, dass man oft kaum unterscheiden kann, was im Einzelfalle Ursache und was Folgerung genannt werden darf. Das wesentliche Kennzeichen der Entwicklung der Naturwissenschaften im vergangenen halben Jahrhundert ist die zunehmende Bedeutung der Strukturforschung. Atomkernphysik und Atomphysik im allgemeinen haben die mit Massenpunkten operierende klassische Physik ergänzt und vertieft. Die analytische Chemie entwickelte sich auf anorganischem und organischem Gebiet zur Struktur- und Stereochemie. In der Biologie, in Physiologie und Vererbungslehre behauptete die morphologische Richtung ihren bevorzugten Platz. Mannigfache Nutzanwendungen resultierten und beginnen eine Umgestaltung der Technik, Medizin und Energiewirtschaft. Die Ausnützung der neuerkannten Möglichkeiten zwang zugleich zur Verbesserung der Werkstoffe und zur genaueren Kenntnis und Beurteilung der Gebrauchsmaterialien. Viele dieser Stoffe müssen ganz besonderen Zwecken dienen. An sie werden sehr hohe Anforderungen gestellt. Sprunghaft ist die Verantwortung aller derjenigen gestiegen, die mit der Fülle dieser Stoffe zu arbeiten haben; immer neue Probleme werden von der Praxis gestellt und müssen von der wissenschaftlichen Forschung gelöst werden.

Es ist selbstverständlich, dass sich dies auch im Hochschulunterricht fühlbar machen sollte. Im Bau- und Maschineningenieurwesen hat lange Zeit die Materialkunde und insbesondere die Werkstoffchemie eine untergeordnete Rolle gespielt. Man hat die Materialien von bekannten Firmen bezogen oder höchstens vor Gebrauch nach wenigen klassischen Methoden prüfen lassen. Für übliche Routinearbeit bot dies in vielen Fällen eine genügende Sicherheit. Eine technische Hochschule verfolgt jedoch nicht das Ziel, Routinearbeiter auszubilden. Sie will mithelfen, Ingenieure zu formen, die neuartige Aufgaben anpacken können, die, wenn an Werkstoffe erhöhte Anforderungen gestellt werden, nicht versagen, sondern mindestens verantwortungsbewusst zu beurteilen vermögen, was nun vorzukehren ist. Für sie soll das Material,

mit dem sie arbeiten, nicht eine blosse Droge oder Fabrikware sein, voller Geheimnisse, die sie nicht interessieren, sondern ein lebendiger Stoff, der in ihren Händen Neuschöpfungen ermöglicht, weil sie über sein Wesen einigermaßen Auskunft geben können. Nur so wird verhindert, dass fehlerhafte Anwendungen erfolgen, neue Möglichkeiten übersehen werden und nach Formeln gerechnet wird, die nicht mehr werkstoffgerecht sind.

Hält man für den akademisch gebildeten Ingenieur eine derartige Einstellung gegenüber dem von ihm benutzten Konstruktionsmaterial für richtig, so ergibt sich von selbst, dass er in eine innigere Beziehung zur Chemie treten muss, als das bisher der Fall war. Denn ohne Kenntnis der chemischen und besonders der strukturell-chemischen Eigenschaften eines Werkstoffes steht er allen neu auftauchenden Problemen gegenüber hilflos da; er entzieht sich einer Verantwortung, die ihm überbunden ist. Dadurch aber, dass sich die Werkstoffchemie zu einem wesentlichen Teil zur Strukturforschung entwickelt hat, ist sie dem Ingenieurdenken auch näher gerückt, so dass die Neuorientierung erleichtert wird. Aufbau, Struktur, Formgebung und Einfluss der Gestalt auf die Verhaltensweise sind ja an sich für ihn geläufige Begriffe. Er wird Verständnis dafür aufbringen können, dass zur erschöpfenden Charakterisierung eines Werkstoffes die analytisch-chemischen Daten nicht genügen. Sein Interesse am Baumaterial wird sich steigern, wenn er erkennen kann, dass Formgebung und Gestaltung für den inneren Aufbau dieser Materialien und deren Eigenschaften genau so wichtig sind, wie sie es im Grossen gesehen, für das Werkstück oder Bauwerk sind, das er planen hilft.

Dass eine derartige Fassung der Werkstoff-Chemie erst in neuerer Zeit unter einheitlichen Gesichtspunkten entwickelt werden konnte, ist eine Folge der Gesamtentwicklung naturwissenschaftlicher Forschung und des Bedürfnisses nach hochwertigen Baustoffen. Es hat sich zur Beurteilung der Werkstoffe als notwendig erwiesen, abzuklären, welche Verbindungen die Atomarten miteinander bilden, wie die Struktur dieser Verbindungen beschaffen ist und in was für einem Gefüge-