Neuere Versuchsresultate über den Geschiebetrieb

Band 103 Nr. 13

Neuere Versuchsresultate über den Geschiebetrieb.

Von E. MEYER-PETER, H. FAVRE und A. EINSTEIN, Zürich.

Seit Mitte 1932 werden in der *Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H.* systematische Untersuchungen über den Geschiebetrieb vorgenommen, deren Kosten unter Beihilfe des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft gedeckt werden. Es sollen hier einige Mitteilungen über die bisherigen Ergebnisse gemacht werden, wobei wir uns vorbehalten, in einer späteren Veröffentlichung näher auf die Versuchs-*Methoden* einzugehen, bei welchem Anlass dann die inzwischen neu erhaltenen Resultate besprochen werden können. Die Praxis des Flussbaues will, zwecks rechnerischer Behandlung von Regulierungsaufgaben, die Bedingungen kennen, unter denen der Transport *natürlicher Geschiebegemische* stattfindet. Vom versuchstechnischen Standpunkt aus ist es aber angezeigt, zuerst das Verhalten von Geschiebe *einheitlicher Korngrösse* abzuklären, da dieses die notwendige Basis bildet für das Eindringen in die komplizierteren Gesetze, die den Transport von Gemischen bedingen. Der vorliegende Aufsatz bezieht sich ausschliesslich auf Geschiebe einheitlicher Korngrösse; Versuche mit Gemischen sind im Gange.

Der 2 m breite und 2 m tiefe Versuchskanal unseres Institutes[1]) besitzt bei einer Gesamtlänge von 50 m und nach Abzug der Anlaufstrecke und der für die Unterbringung der Auffangesilos erforderlichen Länge eine effektive Messlänge von 28 m, und gestattet die Verwendung einer Wassermenge von gegen 5 m³/sec. Unter Abzug der für die Bettbildung erforderlichen Höhe beträgt die Wassertiefe im Maximum 1,20 m.

Der Ausdruck Geschiebe von einheitlicher Korngrösse ist nicht wörtlich zu verstehen; es handelt sich vielmehr auch hier um ein Gemisch, das durch die Maschenweiten zweier Siebe definiert ist, wobei die grössere alle Geschiebe durchlässt und die kleinere alle Geschiebe zurückhält. Bei den verwendeten quadratischen Maschen gibt also die Maschenweite ein Mass für den mittleren Korndurchmesser jedes Geschiebes. Im Hinblick auf die für später vorgesehenen Versuche mit Geschiebegemischen im eigentlichen Sinne des Wortes wurden die verwendeten Siebe in ihrer Maschenweite einem Satz angepasst, in dem jede Maschenweite das $\sqrt{2}$-fache der nächst kleineren ist. Bei den zu besprechenden Versuchen wurde mit zwei Geschiebegrössen gearbeitet, deren erste durch die Siebe mit 24 und 34 mm Weite definiert ist. Die Analyse des sich so ergebenden „Gemisches" mittels der Schublehre führte zur Bestimmung eines mittleren Korndurchmessers gleich dem geometrischen Mittel der Extremwerte, also 28,6 mm. Das zweite Geschiebe ist durch die Maschenweiten von 4,25 und 6 mm bestimmt, der Verkleinerungsmasstab beträgt also $4\sqrt{2} = 5{,}66$ und der mittlere Korndurchmesser misst 5,05 mm.

Bei der Untersuchung der zweiten Geschiebesorte lag von Anfang an die Absicht vor, zu prüfen, ob und in welchem Umfange das Froude'sche Aehnlichkeitsgesetz den Anwendungen der erhaltenen Resultate auf den praktischen Flussbau zu Grunde gelegt werden darf. Es ist ja einleuchtend, dass Versuche im Laboratorium nicht den ganzen Bereich umspannen können, der für die Geschiebeführung in der Natur in Frage kommt. Abgesehen von der Unmöglichkeit, den dreidimensionalen Vorgang, als der der Wasserabfluss und der Geschiebetransport in natürlichen Flüssen anzusprechen ist, im Laboratorium in *grossem* Masstab wiederzugeben, sind die Versuche durch die Abmessungen der verfügbaren Gerinne begrenzt. Dies auch bei den Zürcher Versuchen, die erstmalig in den oben angegebenen Grössenverhältnissen hinsichtlich Wassermenge, Tiefe und Geschiebegrösse zur Ausführung gelangen. Alle bisherigen Versuche sind höchstens in den Dimensionen angeordnet, die für unsere feine Geschiebesorte in Frage kommen. Unter diesen Umständen, und da unseres Wissens keiner der bisherigen Autoren die Geschiebetransportfrage einer Aehnlichkeitsbetrachtung unterzogen hat, ist es von Wichtigkeit, in erster Linie nach einem Uebertragungsgesetz zu forschen. Wir waren uns bewusst, dass wir einen etwas gewagten Schritt unternahmen, denn schon die Aenderung der Reynold'schen Zahl, die bei Masstabsänderungen unvermeidlich ist, deutet darauf hin, dass bei Modellen verschiedenen Masstabes die Reibungsverhältnisse nicht die gleichen sein können. Lässt man aber in der bekannten Strickler'schen Abflussformel

$$v_m = k\, R^{2/3} J^{1/2}$$

den ebenfalls von Strickler vorgeschlagenen Ansatz[2]) gelten, wonach

$$k = \frac{\text{konst.}}{\sqrt[6]{d}}$$

($d = \sim$ Korndurchmesser des Geschiebes), so liegt immerhin die Möglichkeit vor, dass bei einer dem Modellmasstab entsprechenden Verkleinerung des Korndurchmessers die Rauhigkeit der Sohle richtig dargestellt wird. Es bleibt noch der Einfluss der Rauhigkeit der senkrechten Gerinnewände zu eliminieren. Von diesem Gedanken ausgehend wurden die Versuche mit der zweiten Geschiebesorte im Masstab $1:4\sqrt{2}$ bezüglich derjenigen mit dem groben Geschiebe angeordnet und es ergab sich hieraus eine Breite des Versuchsgerinnes von 0,354 m. Die Wassermengen wurden sinngemäss nach dem Froude'schen Gesetz umgerechnet, wodurch sich das Verhältnis $1:2^{25/4}$ ergab.

Bei einem Versuchsprogramm, für das die Geschiebegrösse und die Kanalbreite festliegen, sind die Geschiebemenge und die Wassermenge als unabhängige Variable zu betrachten. Praktisch wurde das Programm so abgewickelt, dass jeweils Serien von Versuchen mit konstanter Wassermenge, aber variabler Geschiebemenge ausgeführt wurden. Solcher Serien kamen drei zur Anwendung mit folgenden Wassermengen:

in der grossen Rinne	1,64,	3,29,	4,60	m³/sec
in der kleinen Rinne	21,6,	43,2,	60,4	l/sec

Dabei wurde die Geschiebemenge wie folgt variiert:

in der grossen Rinne von 0,015 bis 4,27 kg/sec m
in der kleinen Rinne von 0,0034 bis 0,436 kg/sec m

Prof. Dr. A. Schoklitsch in Brünn hat jüngst in einem Aufsatz, betitelt: Der Geschiebetrieb und die Geschiebefracht[3]), auf Grund eigener Versuche, vornehmlich aber unter Benützung der 1914 veröffentlichten Arbeiten von G. K. Gilbert[4]), eine neue Formel für die Berechnung des Geschiebetriebs bei einheitlicher Korngrösse aufgestellt, die wir, auf Grund unserer eigenen Versuchsresultate, besprechen wollen. Zunächst gehen wir mit dem Verfasser darin völlig einig, dass die Aufstellung von Beziehungen zwischen dem Geschiebetrieb einerseits und der Fliess-

[1]) E. Meyer-Peter: Die Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H. „Schweiz. Bauzeitung" Band 95, Seite 205* (April 1930).

[2]) Mitteilung Nr. 19 des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft: „Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen ..."

[3]) „Wasserkraft und Wasserwirtschaft", München, 16. Febr. 1934.

[4]) The transport of debris by running water. United States Geological Survey, Professional Paper 86, 1914

geschwindigkeit bzw. der Schleppkraft anderseits unmöglich ist, einfach deshalb, weil sie nicht existieren. Dies gilt auch für die sogenannte Grenzschleppkraft oder die Grenzgeschwindigkeit und zwar in erhöhtem Masse wegen der grossen Schwierigkeit, den Gleichgewichtszustand der Sohle ohne Geschiebeführung festzustellen. Wir haben ebenfalls die Resultate der Versuche von Hans Kramer[5]) überprüft und zwar mit negativem Resultat. Der Grenzzustand, bzw. seine Definition hängt viel zu sehr von der subjektiven Einstellung des Beobachters ab, als dass es möglich wäre, ihn zahlenmässig zu bewerten. Wir teilen deshalb die Ansicht von A. Schocklitsch, wenn er sagt, dass dieser Grenzzustand nur durch Extrapolation der Funktion, die den Geschiebetrieb zum Ausdruck bringt, bis zum Nullwert des Geschiebetriebs ermittelt werden kann. Dies ist durchaus auch unser Vorgehen bei der Auswertung der Versuche.

Schoklitsch geht anderseits von der von ihm früher aufgestellten Formel aus, nach welcher der Geschiebetrieb proportional dem Wert $(q - q_0)$ ist, wobei q die tatsächliche Wassermenge und q_0 die beim betreffenden Gefälle dem Gleichgewichtszustand ohne Geschiebetrieb entsprechende Wassermenge, beide in m³/sec pro Meter Flussbreite, bedeutet. Auf Grund der ihm zur Verfügung stehenden Versuchsresultate kommt er zu folgenden empirischen Beziehungen für den geschiebelosen Gleichgewichtszustand und den Geschiebetrieb:

$$q_0 = \frac{0{,}00001944 \cdot d}{J^{4/3}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

$$g = \frac{7000}{\sqrt{d}} J^{3/2} (q - q_0) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Die beiden Gleichungen sind so anzuwenden, dass für gegebene Werte von J und d zunächst aus (1) q_0 zu berechnen ist, worauf dieser Wert in (2) eingesetzt wird.

Dabei bedeuten: g den Geschiebetrieb in kg/sec m, q und q_0 die Wassermengen in m³/sec m, d den Geschiebedurchmesser in mm und J das relative Gefälle.

Demgegenüber schlagen wir für die Berechnung des Geschiebetriebes in Funktion der Wassermenge, des Gefälles und des Korndurchmessers folgende Beziehung vor:

$$\frac{q^{2/3} J}{d} = 17 + 0{,}4 \frac{g^{2/3}}{d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Hierin sind: q die Wassermenge in kg/sec m, g die Geschiebemenge in kg/sec m, d der mittlere Korndurchmesser in m im Sinne der oben gegebenen Definition und J das relative Energieliniengefälle.

Es sei zunächst festgestellt, dass, wie bei der Gleichung (2), auch in der Aufstellung unserer empirischen Formel (3) von der Auffassung ausgegangen wurde, dass der Geschiebetrieb als Funktion des Korndurchmessers, der Wassermenge und des Energieliniengefälles darzustellen ist. Das Gefälle, das einzuführen ist, muss begrifflich ausser Zweifel nicht das Wasserspiegelgefälle sein. Auf langen Flusstrecken mit praktisch gleichförmigem Abfluss sind natürlich beide Begriffe miteinander identisch. Bei Versuchskanälen muss aus Gründen, die im Rahmen dieses Aufsatzes nicht besprochen werden können, unbedingt unterschieden werden.

Die Gleichung (3) erfüllt das Froude'sche Aehnlichkeitsgesetz, indem leicht einzusehen ist, dass der Quotient $\frac{q^{2/3}}{d}$ vom Modellmasstab unabhängig ist, weil sich Zähler und Nenner linear mit dem letztgenannten ändern. Gleichung (3) ergibt ohne weiteres die Bedingung für den transportfreien Gleichgewichtszustand, da für

$g = 0$ erhalten wird:

$$\frac{q^{2/3} J}{d} = 17 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

In der angeschriebenen Form sind die Glieder der Gleichungen (3) und (4) noch nicht dimensionslos, wie es an und für sich wünschbar wäre, auch um die Berechnungen unabhängig vom Massystem zu gestalten. Es sei aber bemerkt, dass es durch Division der Gleichungen durch einen Ausdruck von der Form

$$\gamma^{2/3} \mathfrak{g}^{1/3}$$

gelingt, diesen Wunsch zu erfüllen, wenn γ ein spezifisches Gewicht (kg/m³) und $\mathfrak{g}$ die Beschleunigung der Schwere (m/sec²) bedeuten. Jedoch muss vorgängig einer derartigen Umformung der Formeln der Einfluss des spezifischen Gewichtes des Geschiebes noch genauer erforscht werden. Versuche mit Geschiebe von anderem spezifischen Gewicht als das bisher verwendete Material sollen demnächst in Angriff genommen werden.

Die graphische Darstellung der Versuchsresultate muss in einem Koordinatensystem, in dem die *Transportgrössen* $\frac{g^{2/3}}{d}$ als Abszissen und die *Abflussgrössen* $\frac{q^{2/3} J}{d}$ als Ordinaten aufgetragen sind, eine Gerade ergeben. Bevor wir auf die bezügliche Darstellung in Abb. 1 näher eingehen, muss noch eine Bemerkung betreffend die Art der Umrechnung der Versuchsergebnisse vorausgeschickt werden. Wegen des bereits erwähnten störenden Einflusses der Wandreibung ist nämlich nicht zu erwarten, dass die für den Vorgang massgebende Wassermenge q einfach durch Division der Gesamtwassermenge durch die Gerinnebreite erhalten werden kann. Wir sind für die Bestimmung von q vielmehr wie folgt vorgegangen: Durch Vorversuche wurde zuerst für beide Gerinne der Rauhigkeitskoeffizient k_w der Gerinnewandungen bestimmt und zwar für den Abfluss reinen Wassers im Kanal mit glatter Sohle, die gleich beschaffen ist wie die Wände. Sodann wurde, auf Grund der von A. Einstein[6]) angegebenen Methode, der zu den Seitenwänden gehörende Teil des Abflussquerschnittes bzw. der Wassermenge ermittelt. Zieht man diesen Wert vom gesamten Abflussquerschnitt bzw. von der gesamten Wassermenge ab, so ist der Rest der Abflussquerschnitt, bzw. die Wassermenge, die der Sohle entsprechen. Die so erhaltene Wassermenge wird, nach Division durch die Kanalbreite, als Abfluss pro Meter Flussbreite definiert. Damit ist der Einfluss der Wandrauhigkeit ausgeschaltet.

In Abb. 1 sind zunächst die Resultate unserer eigenen Versuche eingetragen, sie gaben den Ausgangspunkt für die Gleichung (3). Die den verschiedenen Korngrössen 28,6 und 5,05 mm entsprechenden Punkte sind besonders hervorgehoben. Sodann haben wir aber, unabhängig von Schoklitsch, die Versuche von G. K. Gilbert ebenfalls zum Vergleich herangezogen. Bei diesen ist zunächst die grössere Streuung der Ergebnisse ersichtlich, über deren Ursachen ein Urteil, trotz eingehender Beschreibung der Methoden, nicht ohne weiteres möglich ist. Wichtig für die Erhaltung guter Ergebnisse ist die Erreichung eines möglichst vollkommenen Beharrungszustandes in der Geschiebeführung, die Versuche sind also sehr zeitraubend. Auch sind aus den Mitteilungen von Gilbert das Energieliniengefälle und die Rauhigkeit der Seitenwände nicht ersichtlich. Aus Abb. 1 erkennt man die gute Uebereinstimmung der Gilbert'schen Versuche für die Korngrösse 7,02 mm mit unserer Formel. Für 4,94 und 3,17 mm liegen alle Resultate etwas tiefer als unsere Gerade. Für noch kleinere Durchmesser ist die Uebereinstimmung unbefriedigend, weshalb die entsprechenden Versuche nicht mehr in das Diagramm eingetragen wurden. Die Abweichung der Resultate der Gilbert'schen Versuche mit kleinem Korn von unserer auf Grund des Aehnlichkeitsgesetzes aufgestellten Formel (3) kann verschiedene Gründe haben. Einerseits ist die Form der kleinen Geschiebekörner wahrscheinlich eine andere als bei den grossen und die Bestimmung des mittleren Durchmessers wird unsicher. Anderseits ist es fraglich, ob bei Korndurchmessern, deren Grössenordnung der Grenzschichtdicke nahekommt, Aehnlichkeitsbetrachtungen noch zulässig sind, oder ob vielmehr ganz neue Gesetze wirksam werden, wobei auch die Kohäsionskräfte eine Rolle spielen können. Damit müsste man dann wohl auch die in entsprechenden Modell-

[5]) Mitteil. der Preuss. Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau: Modellgeschiebe und Schleppkraft, Berlin 1932.

[6]) A. Einstein: Der hydraulische oder Profilradius. „S. B. Z." Bd. 103, Nr. 8 vom 24. Februar 1934.

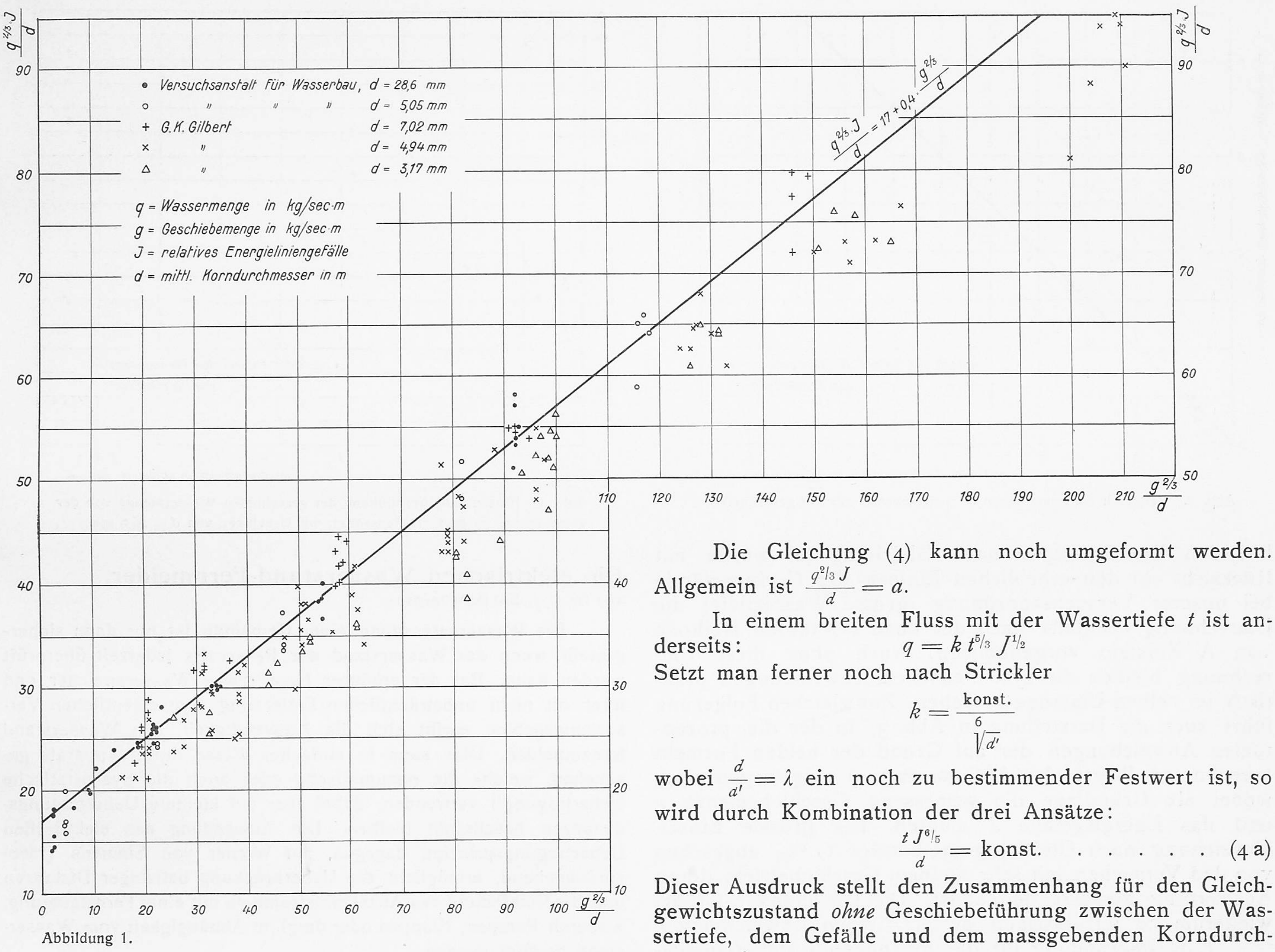

Abbildung 1.

versuchen auftretende Riffelbildung in Zusammenhang bringen. Man möge hierüber auch unseren Beitrag in der Mitteilung Nr. 31 (1932) des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft nachsehen.[7])

Ueber den Bereich der Transportgrösse $\frac{q^{2/3} J}{d}$, der in natürlichen Flüssen praktisch vorkommt, und dessen Maximum dem grössten Geschiebetrieb entspricht, kann eine endgültige Aussage erst gemacht werden, wenn die Ergebnisse der Versuche mit Geschiebegemischen vorliegen, da wir erst dann genau wissen, welcher Geschiebedurchmesser im Falle eines Geschiebegemisches als massgebend einzusetzen ist. Setzen wir mit Schoklitsch für eine erste Schätzung als massgebenden Korndurchmesser denjenigen ein, der in der Geschiebemischungslinie 50 % des Totalgewichtes herausschneidet, so erhalten wir beispielsweise für die Hochwasser des Rheins bei St. Margrethen und bei Basel, sowie der Donau bei Wien Abflusswerte $\frac{q^{2/3} J}{d}$ die ungefähr bei 50 liegen.

Es hat darnach den Anschein, dass unsere Abb. 1 den praktisch in Betracht fallenden Bereich hinlänglich umfasst. Da der Gleichgewichtszustand ohne Geschiebeführung dem Wert 17 entspricht, so ist übrigens plausibel, dass, stark geschiebeführende Wildbäche ausgenommen, die Abflusswerte von Talflüssen bei Hochwasser nicht allzuweit vom Wert 50 entfernt liegen dürften, während er selbstverständlich für kleinere Wasserführungen kleiner wird. Ueber Tieflandströme mit sehr feinem Geschiebe erlauben wir uns zur Zeit noch kein Urteil. Es ist übrigens zu erwähnen, dass nötigenfalls der Bereich unserer Gleichung (3) mit unseren Versuchseinrichtungen noch erweitert werden kann.

[7]) Wasser- u. Sinkstoffführung u. Schlammablagerung im Alten Rhein.

Die Gleichung (4) kann noch umgeformt werden. Allgemein ist $\frac{q^{2/3} J}{d} = a$.

In einem breiten Fluss mit der Wassertiefe t ist anderseits: $q = k\, t^{5/3} J^{1/2}$

Setzt man ferner noch nach Strickler

$$k = \frac{\text{konst.}}{\sqrt[6]{d'}}$$

wobei $\frac{d}{d'} = \lambda$ ein noch zu bestimmender Festwert ist, so wird durch Kombination der drei Ansätze:

$$\frac{t\, J^{6/5}}{d} = \text{konst.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4\,\text{a})$$

Dieser Ausdruck stellt den Zusammenhang für den Gleichgewichtszustand *ohne* Geschiebeführung zwischen der Wassertiefe, dem Gefälle und dem massgebenden Korndurchmesser dar.

A. von Steiger[8]) hat für einen *geschiebeführenden* Fluss den, übrigens den älteren Anschauungen über den Gleichgewichtszustand eines einzelnen Geschiebestückes entsprechenden Ausdruck

$$\frac{t\, J}{D} = \text{konst.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

aufgestellt. Dabei bedeutet aber D den grössten Durchmesser des grössten, eben durch Hochwasser noch transportierten Geschiebes. Aus Gleichung (3) geht aber hervor, dass bei einem Fluss mit Geschiebeführung das Gleichgewichtsgefälle nicht nur von der Geschiebegrösse, sondern auch von der Geschiebemenge abhängig ist. Die beiden Gleichungen unterscheiden sich im übrigen um den Wert $J^{1/5}$. Bei den vorkommenden Werten von J (etwa 0,05 bis 0,0002) ändert sich aber $J^{1/5}$ sehr stark mit J (0,55 bis 0,18), sodass das Gesetz (5) jedenfalls recht ungenau ist, ganz abgesehen davon, dass nach allen neueren Versuchsergebnissen der grösste Durchmesser des grössten Geschiebestückes kein gutes Mass liefern dürfte für den *massgebenden* Korn-Durchmesser.

Wir wollen nur noch die von A. Schoklitsch mitgeteilte Formel (2) mit den Ergebnissen unserer Versuche vergleichen. In Abb. 2 sind in einem Koordinatensystem die bei den Versuchen im grossen Kanal gemessenen Geschiebetriebe g als Ordinaten, und als Abszissen die aus den Gleichungen (2) bzw. (3) berechneten Werte g' aufgetragen. Die Versuchspunkte müssen auf einer durch den Nullpunkt gehenden und unter 45° geneigten Geraden liegen (g und g' in gleichem Masstab aufgetragen). Die auf Grund von Gleichung (3) gefundenen Werte streuen gleichmässig um den theoretischen Wert. Die Formel (2) dagegen führt zu systematischen Abweichungen und zu unzulässig grossen Differenzen gegenüber dem Soll-Wert.

[8]) „Die Bautechnik", Heft 9 (28. Febr.) 1930 und Heft 43 (6 Okt.) 1933.

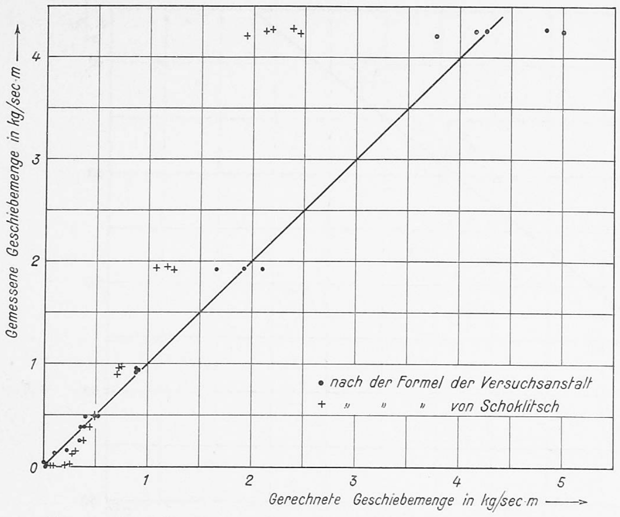

Abb. 2. Vergleich der gemessenen Geschiebemenge mit der gerechneten.

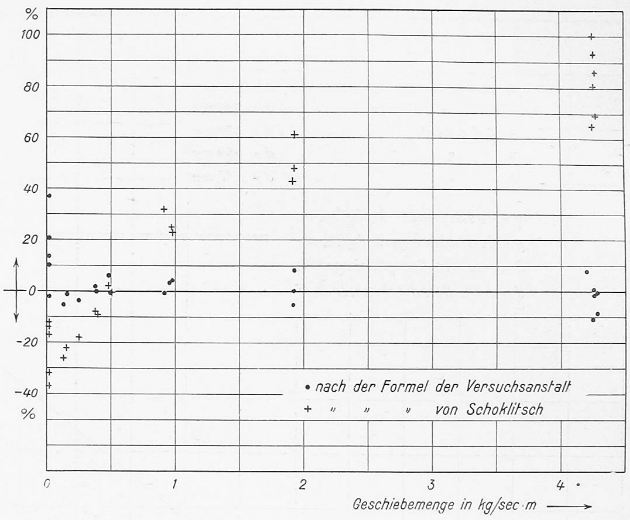

Abb. 3. Prozentuale Abweichung der gerechneten Wassermenge von der gemessenen, im grossen Messkanal, mit Geschiebe von $d = 28{,}6$ mm.

Bei den Berechnungen nach Gleichung (2) wurde mit Rücksicht auf den erheblichen Einfluss der Gerinnewände bei unserer Versuchsanordnung (grosse Wassertiefe) die Umrechnung ebenfalls nach der oben erwähnten Methode von A. Einstein vorgenommen. Auch ohne diese Umrechnung bleiben die systematischen Abweichungen praktisch im selben Umfange bestehen. Zur gleichen Folgerung führt auch die Darstellung in Abb. 3, in der die prozentualen Abweichungen der auf Grund der beiden Formeln berechneten Werte der Abflussmenge q aufgetragen sind, wobei als Grundlage die gemessene Geschiebemenge g und das Energiegefälle J dienten. Die grösste Einzelabweichung nach Gleichung (3) beträgt 11 %, abgesehen von den Versuchen mit sehr kleinem Geschiebetrieb, deren Auswertung äusserst delikat ist. Die Gleichung (2) führt wiederum zu unzulässigen systematischen Abweichungen.

Eine Begründung für die ungenügende Uebereinstimmung der Gleichung (2) mit unseren Versuchsresultaten ist wohl hauptsächlich darin zu sehen, dass die Versuche von G. K. Gilbert, die A. Schoklitsch zur Verfügung standen, in der Hauptsache sehr kleine Korndurchmesser umfassen. Auf die Schwierigkeiten, derartige Versuchsergebnisse ins Grosse zu übertragen, haben wir bereits hingewiesen.

Aus den vorstehenden Mitteilungen dürfte hervorgehen, dass es gelungen ist, für den Transport von Geschiebe mit einheitlicher Korngrösse ein Gesetz zu finden, das sich auf die Grössenverhältnisse der Natur anwenden lässt. Die im Gang befindlichen Versuche mit Geschiebegemischen versprechen ebenfalls den gewünschten Erfolg zu zeitigen. Es wird auf Grund dieses Gesetzes möglich sein, den Vorgang der Geschiebeführung, wie er sich in einem Flusstreifen mit gegebenem Abflusswert abspielt, rechnerisch zu erfassen. Mit Rücksicht auf den Eingangs erwähnten dreidimensionalen Vorgang, der sich bei den meisten Flüssen abspielt — der Hinterrhein im Domleschg bildet eine Ausnahme[9]) — ist es von hohem praktischen Wert, wenn die Anwendungsmöglichkeit der im Laboratorium gefundenen Gesetzmässigkeiten auch auf diesen Zustand auf direkte Kontrollmessungen in der Natur nachgewiesen wird, wie dies z. B. in Oesterreich angefangen wurde.[10]) Es kann deshalb den mit der Oberaufsicht über die schweizerischen Gewässer betrauten Behörden nicht genug empfohlen werden, ihre Mitwirkung bei der Vornahme grossangelegter Messungen an unseren Flüssen zu gewähren.

Zürich, 6. März 1934.

[9]) Vgl. Abb. 22 in „S. B. Z." Band 100, Seite 250 (vom 5. Nov. 1932).

[10]) „Die Wasserwirtschaft", Wien, 1931, Heft 34. R. Ehrenberger: Direkte Geschiebemessungen an der Donau bei Wien. — 1932, Heft 33 und 36. R. Ehrenberger: Geschiebemessungen an Flüssen mittelst Auffanggeräten und Modellversuche mit letzteren. — 1933, Heft 1 bis 6. Ludwig Mühlhofer: Untersuchung über Schwebstoff- und Geschiebeführung des Inn bei Kirchbichl.

Die elektrischen Wasserstand-Fernmelder.

Von Dr. G. v. SALIS, Winterthur.

Die Wasserversorgung einer Gemeinde ist nur dann sichergestellt, wenn der Wasserstand der Reservoirs jederzeit überprüft werden kann. Bei der erhöhten Lage dieser Wasserspeicher und ihrer oft nicht unbeträchtlichen Entfernung vom eigentlichen Versorgungsgebiet, ergibt sich die Notwendigkeit, den Wasserstand fernzumelden. Dies kann in einfacher Weise durch Apparate geschehen, welche die pneumatische oder auch die hydrostatische Uebertragung[1]) verwenden, dabei aber auf kleinere Uebertragungsdistanzen beschränkt bleiben. Die Anwendung des elektrischen Uebertragungsprinzips dagegen, auf Werner von Siemens (1866) zurückgehend, ermöglicht die Ueberbrückung beliebiger Distanzen und die Verbindung des Anzeigeinstruments mit einer Fernsteuerung, wodurch Pumpen, Klappen oder dergl. in Abhängigkeit vom Wasserstand betätigt werden.

Eine Fernmeldeanlage besteht aus drei wesentlichen Teilen: dem Geber, der die zu meldende Grösse, hier den Wasserstand, in elektrische Zustandsänderungen verwandelt, dem Empfänger, der diese elektrischen Zeichen in eine mechanische Zeigerbewegung am Anzeigeinstrument übersetzt und der Uebertragungsleitung, als Bindeglied zwischen Geber und Empfänger.

In der Schweiz gelangen verschiedene Systeme von elektrischen Wasserstandsfernmeldern zur Anwendung, die sich in zwei Gruppen einteilen lassen. Beiden gemeinsam ist der Antrieb des Gebers auf mechanischem Wege vom Schwimmer aus, vermittelst Kette oder Drahtseil (Abb. 1).

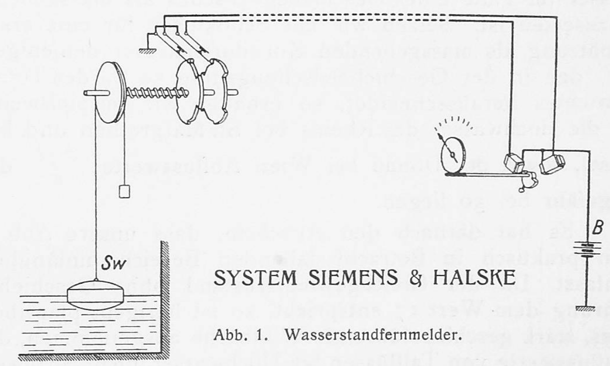

Abb. 1. Wasserstandfernmelder.

1. *Das Kontaktsystem.* Der Geber legt die Meldebatterie an die Uebertragungsleitung, sobald der Schwimmer eine bestimmte Stufe, im allgemeinen 5 cm, zurückgelegt hat. Der Zeiger im Empfänger verändert durch diesen Stromimpuls seine Lage. Der Antrieb dieses Zeigers kann durch einen Elektromotor geschehen, wobei eine mechanische Sperrvorrichtung den Motor zum Stillstand bringt, sobald er die nötige Zahl von Umdrehungen gemacht hat,

[1]) O. Seitz, „Archiv für Technisches Messen" (ATM), V 1123—2.