

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 17

Artikel: Die Internationale Rheinregulierung vor der Illmündung bis zum Bodensee
Autor: Meyer-Peter, E. / Hoeck, E. / Müller, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49036>

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: 27.01.2026

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

INHALT: Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee. — Ein Untergrund-Personen-Transportband. — Wettbewerb für eine katholische Kirche in Amriswil. — Messungen und Verbesserungen an bestehenden Heizanlagen. — Mitteilungen: Vorspannen der Armierungen im Eisenbeton. Verbreiterung des «Pont d'Iéna» in Paris.

Beanspruchung von Druckleitungen bei sehr raschen Bewegungen der Abschlussorgane. Vom englischen Strassenwesen. Photozellen im Kraftwerkbetrieb. Kalkauslaugung aus Beton. — Nekrolog: Alfred Bürgi. O. M. Corbino. Elihu Thomson. Ernst Eigenheer. Leopold Karner. Alfred Däniker. — Literatur.

Band 109

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich.
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 17

Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee

(Fortsetzung von Seite 193)

II. Beitrag der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H. Zürich zur Lösung des Problems

Von Prof. Dr. E. MEYER-PETER, Dipl. Ing. E. HOECK und Dipl. Ing. R. MÜLLER

A. MODELLVERSUCHE.

Die hier beschriebenen Versuche wurden im Auftrag des Eidg. Departements des Innern und zwar auf Anregung des Eidg. Oberbauinspektorats begonnen und dann im Auftrag der Internat. Rheinregulierungs-Kommission zu Ende geführt. Ihr Hauptzweck bestand in der Prüfung der Frage, ob durch bauliche Massnahmen am Diepoldsauer Durchstich, sei es in Form einer Verengung des 110 m breiten Mittelgerinnes unter gleichzeitiger Wuhrerhöhung, sei es durch blosse Erhöhung der bestehenden Wuhre, eine Sohlenabsenkung erreicht werden kann.

Es wurde eine geradlinige Rheinstrecke von 3,5 km Länge nach dem Normalprofil der Rheinregulierung im Maßstab 1:100 im Modell nachgebildet. Da es sich von Anfang an mehr um qualitative Resultate handelte, wurde das Gefälle, das durch die Baulinien der Längswerke dargestellt ist, zu 1% gewählt. Als Geschiebematerial kam, wie dies für die im Flussbaulaboratorium der T. H. Karlsruhe für die Rheinregulierung unterhalb Basel durchgeführten Versuche der Fall war, Braunkohlengrus zur Verwendung. Im Lauf der Untersuchungen, die von Anfang 1932 bis zum Sommer 1934 dauerten, ergab sich zufolge der von der Versuchsanstalt aus eigener Initiative und unter aktiver Mitwirkung des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft durchgeführten systematischen Geschiebetriebversuchen, dass sich dieses Ersatzmaterial nach den gleichen Gesetzen bewegt, wie natürliches Geschiebe¹⁾, was den Wert der erwarteten qualitativen Resultate erhöht.

1. Geschiebefunktion.

Eine erste Untersuchung galt der Frage, ob ein Talfluss wie der Rhein sein Geschiebe gesetzmässig transportiere, oder ob die Geschiebeförderung dem Zufall unterworfen sei und daher ganz unregelmässig und ohne erkennbaren Zusammenhang mit der Wasserführung erfolge. Diese zweite Ansicht trifft sicher für eigentliche Wildbäche zu, bei denen die Sohle mit grossen Blöcken (die gar nicht vom Fluss selbst zu stammen brauchen, vielmehr aus dem nicht vom Bache selbst gebildeten Untergrund herühren), derart ausgepflastert ist, dass es eines ganz außergewöhnlichen Hochwassers bedarf, um sie in Bewegung zu setzen. Kleinere Wassermengen vermögen, ohne die Sohle zu stören, sehr grosse Geschiebemengen zu transportieren, wobei in vielen Fällen, wegen Mangel an seitlichem Zuschub, keine Sättigung des Wassers mit Geschiebe vorhanden ist. Bei einer bestimmten Wassermenge werden also ganz verschiedene Geschiebemengen transportiert, von einem sehr geringen Mindestwert bis zum Sättigungsgrad. Wenn aber die Flussohle aus eigener Alluvion des Flusses gebildet wird, also aus Geschieben besteht, die der Fluss selbst schon transportiert hat, wird die Ansicht zutreffen, dass der Fluss sich in jedem Moment mit einer bestimmten Geschiebemenge, die natürlich von der Beschaffenheit der Sohle abhängt, sättigt, sodass eine eindeutige Abhängigkeit der Geschiebemenge von der Wassermenge entsteht. Wir wollen diesen Zusammenhang als *Geschiebefunktion* bezeichnen.

Man wird, wenn man von einer Geschiebefunktion hört, diesen Ausdruck nicht so verstehen müssen, dass bei gleichbleibender Wassermenge in jedem Moment genau der gleiche Geschiebetrieb vorhanden ist. Dieser erfolgt vielmehr mit einer periodischen, zeitlichen Veränderlichkeit. Weil sich zufolge der Bewegung in Bänken die Sohle mit der Zeit verändert (Wandern der Bänke), ist die Bewegung im allgemeinen auch örtlich veränderlich. Als «Geschiebetrieb» fassen wir daher den zeitlichen Mittelwert der transportierten Menge an einer bestimmten Stelle auf, und in diesem Sinne ist auch der Begriff Geschiebefunktion zu verstehen.

Eine wichtige Bedingung zur experimentellen Ermittlung des Geschiebetriebes ist noch die, dass die Versuchsstrecke im Beharrungszustand sein muss, denn wir wollen ja gerade durch die Geschiebefunktion das Mass der Geschiebeführung definieren,

¹⁾ «Neuere Versuchsergebnisse über den Geschiebetrieb». «S B Z», Bd. 103, Nr. 13 (31. März 1934). — «Beitrag zur Berechnung der Geschiebeführung und der Normalprofilbreite von Gebirgsflüssen». Bd. 105, Nr. 9 und 10 (März 1935).

das der Fluss unter Beibehaltung seiner Sohlenlage eben zu transportieren vermag. Ist dann die einer bestimmten Strecke von oben zugeführte Geschiebemenge grösser oder kleiner als dieses Mass, so muss Verschotterung oder Erosion auftreten; diese nur in dem Massen, als dadurch keine Befestigung der Sohle durch Anreicherung an groben Geschieben entsteht. Weiter hat die Ermittlung einer Geschiebefunktion zur Voraussetzung, dass die hydraulischen Faktoren, die den Wasserabfluss bedingen, auf der Versuchsstrecke konstant sind, abgesehen von der durch die periodisch veränderliche Gestaltung der Flussohle (Kiesbänke) bedingten Periodizität. Es ist also erforderlich, die Versuche so zu gestalten, dass «gleichförmige» Bewegung entsteht. Dies wird beim prismatischen Gerinne durch das parallele Verlaufen der ausgeglichenen Sohle und der gemittelten Wasserspiegellinie ausgedrückt. Wir müssen also (immer mit der gleichen Beschränkung) einen sogenannten Normalabfluss herstellen, bezw. durch das Wasser selbst herstellen lassen. Der Versuch wird also dann erst abzuschliessen sein, wenn diese beiden Bedingungen «Normalabfluss» und «Beharrungszustand» möglichst genau erfüllt sind.

Die Frage der Wahl der Korngrösse der Modellgeschiebe ist durch die bereits erwähnten systematischen Arbeiten der Versuchsanstalt für Wasserbau²⁾ für Geschiebe mit dem gleichen spezifischen Gewicht wie das Naturgeschiebe in dem Sinne abgeklärt worden, dass das Froude'sche Ähnlichkeitsgesetz gilt, sodass die Geschiebe im Maßstab des Modells zu verkleinern sind. Da dies beim Maßstab 1:100 und den Geschiebeabmessungen des Rheins zu einem allzu feinen Material führt, wird mit Kohlengrus gearbeitet, dessen Korngrösse dann, entsprechend seinem geringen spez. Gewicht, wesentlich gröber gehalten werden kann, wodurch es sich, wie ebenfalls nachgewiesen, nach gleichen Gesetzen bewegt, wie natürliches Geschiebe. Versuche mit Material von verschiedenem spez. Gewicht haben zu folgender empirischer Formel geführt³⁾:

$$\frac{J q^{2/3}}{\alpha \gamma''^{10/9}} = 9,57 + 0,462 \cdot \frac{g''^{2/3}}{\alpha \gamma'''^{7/9}}$$

Hierin bedeutet:

J das Energieliniengefälle

q die Wassermenge pro Meter Flussbreite in $\text{kg sec}^{-1} \text{m}^{-1}$

g'' den Geschiebetrieb pro Meter Flussbreite in $\text{kg sec}^{-1} \text{m}^{-1}$ aber unter Wasser gewogen

γ''' das spez. Gewicht des Geschiebematerials in kg dm^{-3} unter Wasser bestimmt.

Die Gültigkeit der Formel wurde nachgewiesen für das Gebiet mit folgenden Grenzwerten des spez. Gewichtes:

Braunkohlengrus $\gamma'' = 0,25$

Naturkies $\gamma'' = 1,68$

Baryt $\gamma'' = 3,22$

Zu Beginn der Versuche (Anfang 1932) verfügte die Versuchsanstalt noch nicht über die heutige Erfahrung. Es war deshalb aus Vorsicht geboten, bei der ersten Versuchserie gewisse vereinfachende Versuchsbedingungen einzuführen, von denen eine der wichtigsten darin bestand, dass vorläufig ein mehr oder weniger einheitliches Geschiebe verwendet wurde, dessen Korngrösse (mittlerer Durchmesser) zwischen 1 und 3 mm lag. In der zweiten Versuchsreihe 1933/34 wurde dann ein eigentliches Gemisch verwendet, dessen Korndurchmesser von 0,5 bis 11,5 mm reichten.

Um nun die Frage nach der Existenz einer Geschiebefunktion abzuklären, wurden mit beiden Geschiebesorten Dauerversuche mit für einen bestimmten Versuch konstanten Wassermengen ausgeführt. Für das «einheitliche» Geschiebe war dies einfach, weil die Sohle des Modellflusses, sowie auch die am oberen Ende des Modells eingeführten Geschiebe (Beschickung) aus dem nämlichen Material bestanden. Immerhin musste auch

²⁾ Siehe Fussnote 1.

³⁾ H. Favre: «Recherches expérimentales sur les débits solides dans les cours d'eau». Rapport de communications des Journées d'études de la navigation, Lyon, Edition: Foire de Lyon, 1935. — Siehe auch: Annales des Ponts et Chaussées, No. VIII, 1935 und No. VII, 1936.

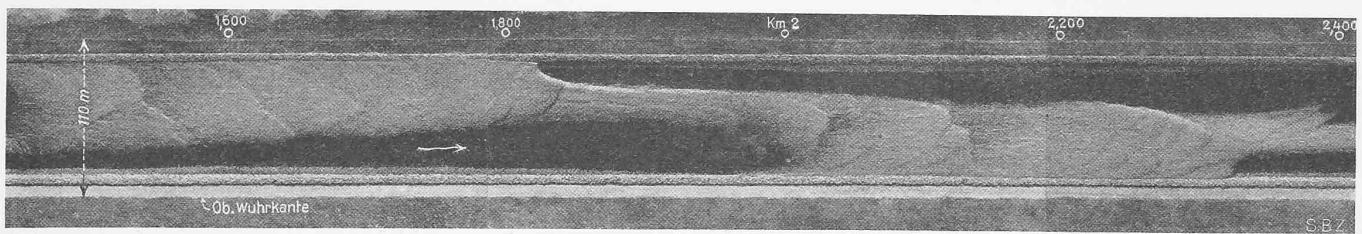


Abb. 15. Modell-Aufnahme am 14. Juli des 4. Versuchsjahrs nach Ablauf des Sommer-HW. — Modell bis Furtsohle trockengelegt.

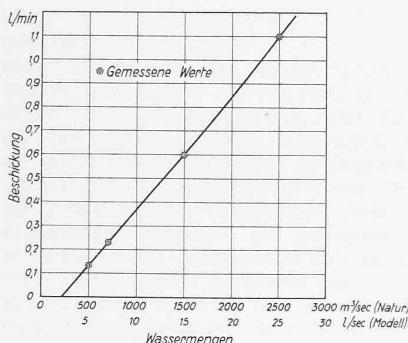


Abb. 12. Geschiebefunktion für Geschiebe von 1 bis 3 mm Korngrösse.

Literatur damals, 1932 und auch später, noch vertretenen Auffassung, dass sich in natürlichen Flüssen, wie dem Rhein unterhalb Basel, die transportierte Geschiebemenge linear mit der Wassermenge verändert⁴⁾). Ueber die Frage, ob das gewählte Geschiebe einigermaßen dem des Rheins entspreche, gab die Feststellung schon einen günstigen Anhaltspunkt, dass der Geschiebetrieb im Modell bei etwa 200 m³/sec beginnt, was beim Rhein, nach Mitteilung der Rheinbauleitung Bregenz, tatsächlich auch der Fall ist.

Die Verwendung eines Geschiebegemisches von 0,5 – 11,6 mm mittlerem Korndurchmesser war deshalb schwieriger, weil nun die Frage auftauchte, wie sich das laufende Geschiebe bei verschiedenen Wassermengen verhalte und wie sich dabei die Sohle ausbilde. Denn es ist anzunehmen, dass die Sohle eine andere Kornverteilung aufweist als das laufende Geschiebe, zumal ja in der Natur variable Wassermengen abfliessen, denen sich die Sohle nicht spontan anpassen wird. Die Mischungen und die Geschiebemengen, die den einzelnen Wassermengen entsprechen, und die Sohlenzusammensetzung, die sich nach Ablauf einer gewissen Zeitdauer mit variablen Abflüssen ergibt, mussten empirisch bestimmt werden. Dies wurde so versucht, dass zuerst für verschiedene konstante Abflüsse eine Sohlenzusammensetzung und eine Geschiebemenge gleicher Zusammensetzung ermittelt wurde, die der Bedingung «Normalabfluss und Beharrungszustand» genügten. Abb. 13 gibt die gefundene Geschiebefunktion, die allerdings nur als erster Näherungswert zu betrachten ist, weil, wie oben gesagt, für jede Abflussmenge eine andere Sohlenzusammensetzung verwendet wurde. Sie weicht auch etwas von einer gerad-

⁴⁾ Wittmann: «Der Einfluss der Korrektion des Rheins zwischen Basel und Mannheim auf die Geschiebebewegung des Rheins». Deutsche Wasserwirtschaft, Jahrgang 1927, Heft 10, 11 und 12, — Ferner Schoklitsch: «Die Geschiebebewegung in Flüssen und an Stauwerken». J. Springer, Wien 1926.

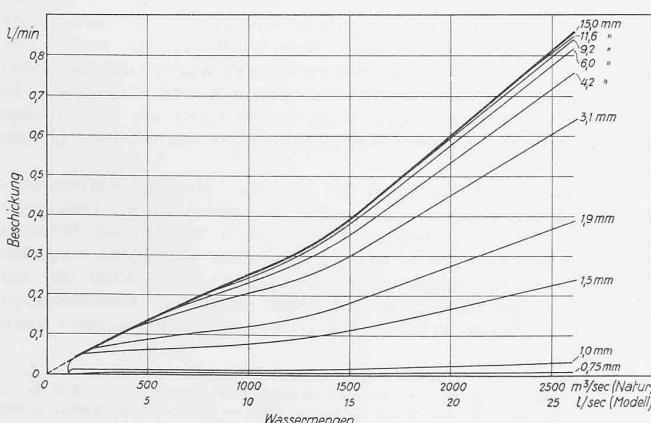


Abb. 13. Geschiebefunktion für das Gemisch von 0 bis 15 mm Korngrösse.

hier die Bedingung «Normalabfluss und Beharrungszustand» erfüllt sein; diese ergab sich durch praktische Uebereinstimmung der am untern Modellende austretenden Geschiebemenge (Abspülung) mit der Beschickung.

Die Versuche ergaben die Existenz einer *Geschiebefunktion*, die in Abb. 12 graphisch dargestellt ist. Daraus ergibt sich eine Bestätigung der in der

1inigen Abhängigkeit zwischen Abfluss und Geschiebetrieb ab. Im Diagramm sind nicht nur die Gesamtmengen, sondern auch die Anteile der einzelnen Korngrößen, in bestimmte Fraktionen eingeteilt, ersichtlich. Man sieht, dass bei der Wassermenge von 2500 m³/sec auch noch ein verschwindend kleiner Anteil an Körnern von 11,6 – 15 mm transportiert wurde.

Um nun hieraus die Sohlenzusammensetzung zu finden, die sich durch das Abfliessen variabler Wassermengen ausbildet, ging man von dem Gedanken aus, dass sie sich als das Resultat sämtlicher, in einem bestimmten Zeitraum über sie hinweggegangenen Geschiebemengen darstellen müsse, und zwar unter Berücksichtigung der Dauer jeder Wassermenge. Bezeichnet man darnach mit Δt_i das Zeitintervall innerhalb der Zeitspanne t , während der eine sekundliche Wassermenge Q_i und eine ihr zugehörige sekundliche Geschiebemenge G_i die Sohle überstreicht, und mit Δp den Anteil einer bestimmten Kornfraktion an dieser Geschiebemenge G_i , so ergibt sich der Anteil der gleichen Fraktion am Sohlengemisch nach der Formel

$$p = \frac{\sum_{i=1}^t (G_i \Delta p \Delta t_i)}{\sum_{i=1}^t (G_i \Delta t_i)}$$

Die den Einzelwassermengen entsprechenden Mischungslinien sind in Abb. 14 dargestellt, ebenso deren Summenlinie unter Berücksichtigung der Dauer der Einzelwassermengen im «Normaljahr», das weiter unten noch erwähnt wird.

Wenn nun dieser vorläufig noch hypothetische Ansatz richtig sein soll, muss es möglich sein, durch einen Dauerversuch, bei dem die Dauer der Einzelwassermengen Q_i gleich Δt_i beträgt, und bei dem ferner jeweils die den Abflüssen Q_i entsprechenden Beschickungen G_i mit den früher bestimmten Mischungslinien ausgeführt werden, einen Beharrungszustand der Sohle zu erhalten, der der Bedingung «Normalabfluss» entspricht. Die Natur bringt einen Beharrungszustand nicht in einem Jahr hervor; man musste sich deshalb fragen, welche Zeitfolge im Versuch abzurollten war. Aus Gründen grösserer Einfachheit in der Durchführung der Versuche entschloss man sich, an Stelle einer Folge von Jahren ein mittleres Abflussjahr als «Normaljahr» zu wählen und dieses so oft zu wiederholen, als zur Erreichung des Beharrungszustandes notwendig war. Die Abwicklung der Zeit erfolgte dabei genau chronologisch, also nach der Ganglinie des Normaljahres, die Einstellung der Wassermengen alle 24 Stunden (Natur) in der Grösse der Tagesmittel.

Vor Durchführung des Kontrollversuchs war noch der Zeitmaßstab zu bestimmen. Bei Verwendung eines Modellgeschiebes, dessen spez. Gewicht dem des Naturgeschiebes entspricht, ist, wie bereits gesagt, das Froude'sche Ähnlichkeitsgesetz zutreffend. Dies bedingt, dass die Zeiten im Modell aus den Naturzeiten durch Division mit der Quadratwurzel aus dem Modellmaßstab erhalten werden; in unserem Falle wären die Zeiten zehnmal kürzer als in Natur. Dass man bei einer solch geringen Zeitverkürzung Modellversuche, die sich für jeden Einzelversuch

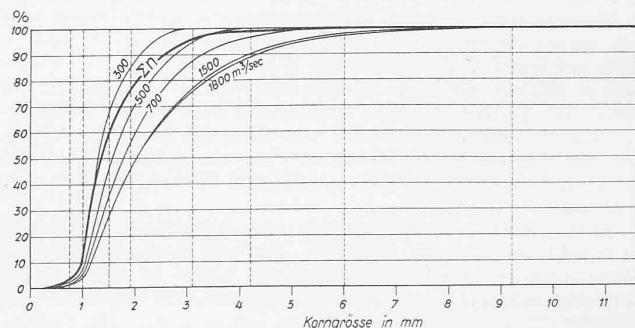


Abb. 14. «Normale» Mischungslinien der Geschiebe für die Einzelwassermengen, und normale Summenlinie für das Normaljahr.

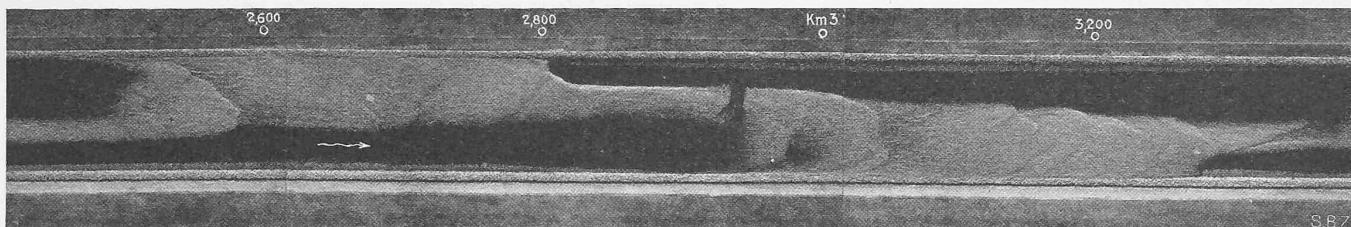


Abb. 16. Modell-Aufnahme am 14. Juli des 4. Versuchsjahrs nach Ablauf des Sommer-HW. — Modell bis Furtsohle trocken gelegt.

auf eine ganze Reihe von Jahren erstrecken müssen, weil eben die Natur diese Zeiten verlangt, praktisch nicht zum Ziele kommt, dürfte einleuchten. Bei Verwendung von spezifisch leichterem Geschiebe sind aber die Zeiten ganz wesentlich kürzer, und das ist ein weiterer Vorteil der Verwendung solcher Materialien. Zur Zeit besteht noch keine Möglichkeit, den Zeitmaßstab genau zu berechnen; wir können ihn aber rechnerisch seiner Größenordnung nach bestimmen (bisher noch unveröffentlicht). Es gibt aber eine empirische Methode, die darin besteht, im Modell einen Vorgang, der sich in der Natur abgespielt hat und den man beobachten konnte, nachzubilden. Dazu eignet sich am besten das Phänomen der Bildung der Kiesbänke. Durch Profilaufnahmen der schweizerischen Rheinbauleitung Rorschach und durch Fliegeraufnahmen des Rheins⁵⁾ waren Form und Grösse der Kiesbänke bekannt. Als weiteres Kriterium kann die Wanderungsgeschwindigkeit der Kiesbänke herangezogen werden; auch diese ist aus den Aufnahmen bekannt, zeigt aber starke Schwankungen; als Kontrolle der Größenordnung des Zeitmaßstabes leistet aber diese Beobachtung gute Dienste. Aus all diesen Ueberlegungen und auf Grund zahlreicher Vorversuche wurde der Zeitmaßstab zu 1 : 360, also ein Tag gleich 4 Minuten, festgesetzt und dann der Kontrollversuch ausgeführt. Er ergab nach Durchführung von vier Normaljahren, d. h. rd. 97 Versuchsstunden, ein Wasserspiegelgefälle (bei $Q = 100 \text{ m}^3/\text{sec}$) von genau 1,00 % und ein ausgeglichenes Sohlengefälle von 1,107 %; die Neigung der Sohle war also auf die 35 m um 3,5 mm zu gross. Die erhaltene mittlere Sohlenlage liegt 26 cm (2,6 mm im Modell) tiefer als die Projektsohle. Das sagt aus, dass die Methode der Berechnung der Sohlenzusammensetzung aus den Geschiebemischungen der einzelnen Wassermengen innerhalb der zu erwartenden Genauigkeit brauchbar ist; denn schon die Versuche zur Bestimmung der Geschiebefunktion der Einzelwassermengen zeigen Abweichungen von der gleichen Größenordnung. Die entsprechende «Luftphotographie» zeigen die Abb. 15 und 16; die Uebereinstimmung der Bankform und Grösse, sowie der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bänke im Modell und in der Natur ist sehr befriedigend.

Damit ist die wichtige Frage nach der Existenz einer Geschiebefunktion im Sinne einer Bejahung entschieden für jene Fälle, in denen die Sohlenzusammensetzung in engem Zusammenhang steht mit dem bei den verschiedenen Wassermengen transportierbaren Geschiebe, d. h. für Talfüsse.

2. Nachbildung eines aus Naturbeobachtungen bekannten Zustandes des Rheins.

Ein Hinweis auf die naturgetreuen Vorgänge im Modellversuch ist bereits an zwei Stellen des vorstehenden Abschnittes gemacht worden. Man stellte sich nun zur Aufgabe, den Verlandungsprozess im Diepoldsauer Durchstich, der sich in zehn Jahren (1923 bis 1933) von der Projektsohle aus abgespielt hatte, nachzubilden. Wenn der Diepoldsauer Durchstich und die unten anschliessende Zwischenstrecke sich verlandet haben, ist das ein

⁵⁾ Vergl. Abb. 9 D in Bd. 105, S. 111* (9. März 1935).

Beweis dafür, dass das diesen Strecken von oben her zugeführte Geschiebe entweder nach Menge oder nach Korngrösse mit deren Transportfähigkeit nicht übereinstimmt. Nachdem im eben beschriebenen Kontrollversuch das gewünschte Gefälle von 1 % und der gewünschte Normalabfluss sehr nahe erreicht wurden, konnten die durch die Abb. 13 und 14 dargestellten Geschiebefunktionen und Mischungslinien als mit dem Gefälle von 1 % verträglich angesehen und deshalb als «normal», den Projektlinien für dieses Gefälle angemessen bezeichnet werden. Will man anderseits die in der Natur vorhandene Auflandungstendenz zur Darstellung bringen, müssen entweder die Geschiebemengen vergrössert, oder die Mischungslinien vergröbert werden. Man entschloss sich für das zweite Vorgehen und zwar so, dass die gewählte Mischungslinie der Sohlenzusammensetzung jener in der Natur geometrisch ähnlich nachgebildet wurde. Es blieb dann noch übrig, aus dieser «natürlichen Summenlinie» die Mischungslinien entsprechend den Einzelwassermengen (Abb. 17) zu konstruieren, was nach einem graphischen Verfahren aus den Mischungslinien des «normalen» Geschiebes durchgeführt wurde. Dabei blieb die Geschiebefunktion, streng genommen, noch experimentell zu bestimmen. Man wählte sie gleich jener des «normalen» Geschiebes (Abb. 13), weil es sich nicht um eine quantitative, sondern um eine qualitative Untersuchung handelt. Die Abb. 13 gibt also die Geschiebefunktion, aber ohne die Einteilung in Geschiebefraktionen, die Abb. 17 die Mischungslinien, die nunmehr verwendet wurden. Es mag vielleicht auffallen, dass in letztgenannten die Geschiebefraktion 11,6 \pm 15 mm weggelassen wurde, sodass also nur der Bereich 0,5 \pm 11,6 mm verwendet wurde. Dies erklärt sich daraus, dass beim abgewickelten Normaljahr, dessen höchste 24-stündige Wassermenge 1700 m³/sec betrug, die Wassermengen in der Nähe von 2500 m³/sec, die allein jene schweren Geschiebe zu transportieren vermögen, nicht zur Anwendung kamen.

Nach zehnmaliger Wiederholung des Normaljahres, d. h. nach 243 Stunden Betrieb des Modells, wurde der Beharrungszustand der Sohle erreicht. Diese hatte sich gegenüber dem Anfangszustand (Projektlage) im Mittel um 49 cm gehoben; das Gefälle der ausgeglichenen Sohle betrug 1,60 %. Am oberen Ende erreichte die Kiesbank eine Höhe von 3,7 m über Projektsohle, d. h. der Kiesbankrücken befand sich um 20 cm höher als das Vorland. Die Länge der Kiesbänke betrug im Mittel 500 m und ihre mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit pro Jahr 222 m.

Die erreichte mittlere Sohlenerhöhung ist bedeutend geringer als in der Natur, wo sie im Winter 1933/34 bei der mittleren Rheinbrücke einen Wert von 1,60 m erreicht hatte. Die Ursache dieser Divergenz liegt darin, dass bei diesem Versuch die Wasserspiegellage am unteren Modellende so reguliert wurde, dass sie der Abflussmengenkurve in Funktion des Wasserstandes im Jahre 1926 entsprach. Von 1926 bis 1933 ist nach Aufnahmen der schweiz. Rheinbauleitung am unteren Ende des Diepoldsauer Durchstichs der Niederwasserstand um 80 cm, der Hochwasserstand um rund 40 cm gestiegen, als Folge der Verschotterung der Zwischenstrecke. Der Einfluss dieser höheren Wasserstände wurde in den folgenden Versuchen mit abgeändertem Normalprofil geprüft.

Was das etwas zu hohe Gefälle von 1,6 % anbetrifft (gegenüber 1,32 % im Jahre 1932/33) ist darauf hinzuweisen, dass im genannten Jahr der Rhein ja noch keinen Beharrungszustand erreicht hatte. Allenfalls waren auch die Geschiebemengen gemäss Abb. 13 etwas zu gross, was übrigens den Vorteil hatte, den Verlandungsvorgang etwas zu beschleunigen. — In Anbetracht der zur Verfügung stehenden Kredite und der Dringlichkeit von Abhilfemaßnahmen musste man darauf verzichten, noch näher an die Verhältnisse in der Natur heranzukommen, umso mehr, als diese sich noch weiter verändern.

Das schon in der «Schweiz. Bauzeitung» vom März 1935 (Nr. 9 und 10) in Abb. 9 D dargestellte Fliegerbild des Diepoldsauer Durchstichs und das in Abb. 9 C dort wiedergegebene «Luftbild» des Modells nach dem Kontrollversuch vermitteln dem Leser

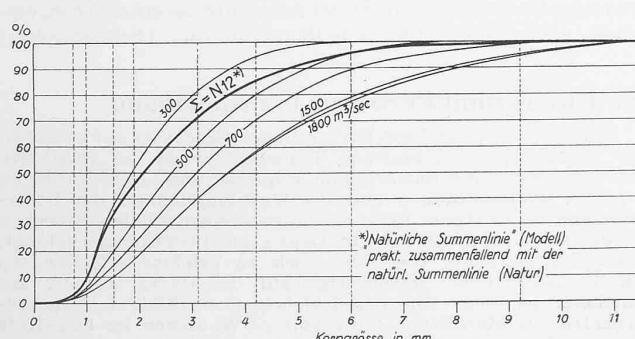


Abb. 17. «Natürliche» Mischungslinien der Geschiebe für die Einzelwassermengen, und natürliche Summenlinie für das Normaljahr.

einen Eindruck von der Übereinstimmung der Vorgänge im Modell und in der Natur. Die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Naturkiesbänke betrug z. B. im Jahr 1927 genau 222 m im Mittel, wie im Modell beim Normaljahr, in andern Jahren war sie im allgemeinen eher etwas grösser.

3. Versuche mit abgeändertem Normalprofil.

Solche Versuche wurden sowohl für das einheitliche Geschiebe, als für das Geschiebegemisch durchgeführt.

a) In der Versuchserie 1932 wurde das einheitliche Geschiebe (1 - 3 mm) verwendet; es wurde ferner, der Einfachheit halber und zwecks Sammlung von Erfahrungen in der Versuchstechnik, jeder Versuch mit einer konstanten Wassermenge durchgeführt. Auf besondern Wunsch des Eidg. Oberbauspektrates, das den Hochwassern eine ausschlaggebende Bedeutung beimisst, wurde dazu die Abflussmenge von 1500 m³/sec gewählt. Es sind deshalb aus diesen Versuchen noch keine endgültigen Schlüsse zu ziehen, weil sie nur die Tendenzen angeben, die diese Hochwassermenge in Bezug auf die Sohlenausbildung verfolgt. Das Ergebnis kann in folgende Sätze zusammengefasst werden:

Sowohl die Verengung des Mittelgerinnes, verbunden mit einer Wuhrerhöhung um 2 m (Abb. 18, oben), als auch die blosse Wuhrerhöhung um 4 m (Abb. 18, unten) bewirken eine Sohlenabsenkung, jedoch ist die Verengung mehr als doppelt so wirksam, als die blosse Wuhrerhöhung. Beide Lösungen sind in ihrem Effekt sehr stark abhängig vom Wasserspiegel am untern Ende des Modells. Dieser wird aber in der Natur, wie schon bemerkt, durch die Verschotterung der an die Versuchsstrecke anschliessenden Zwischenstrecke erhöht. Wenn schon bei der äusserst selten auftretenden Hochwassermenge von 1500 m³/sec die Wirkung der blossem Erhöhung der Wuhre geringer ist als die der Verengung mit Wuhrerhöhung, so ist zu erwarten, dass bei den häufiger auftretenden kleineren Wassermengen ein noch ungünstigeres Bild für die erste Lösung entsteht. Denn während die Verengung auf alle Wassermengen einwirkt, ist dies bei der Erhöhung nur von jenen Wasserständen an der Fall, bei denen die bestehenden Wuhre überflutet würden. Ist die Aufgabe gestellt, möglichst wieder die Projektsohle zu erreichen, so tritt diese Ueberflutung aber erst bei etwa 700 m³/sec ein; bei dieser Ueberlegung darf man nicht etwa den heutigen Zustand im Diepoldsauer Durchstich heranziehen, wo die Ueberflutung der Vorländer schon bei etwa 300 m³/sec eintritt, denn diesen Zustand will man ja beseitigen. Qualitativ einwandfreie Schlüsse erlauben die Versuche mit variablen Wassermengen.

b) In der Versuchserie 1933/34 wurde das Geschiebe gemäss den Mischungslinien der Abb. 17 (Sohle entsprechend Summenlinie), die Geschiebemengen nach Abb. 14 gewählt und die Wassermenge nach der Ganglinie des Normaljahrs variiert. Eine Zusammenstellung der untersuchten Profile findet sich in Abb. 19. Normalprofil 1 Ausgeführt Normalprofil (zum Vergleich nochmals angeführt);

Normalprofil 2a Verengung des Mittelgerinnes um 20 m durch Verschieben des linken Wuhres. Erhöhung des alten Wuhres rechts und des neuen Wuhres links um 3 m;

Normalprofil 2b Verengung des Mittelgerinnes um 20 m durch Verschieben des linken Wuhres, das auf der Höhe der heutigen Wuhre gebaut wird. Erhöhung der alten Wuhre um 3 m;

Normalprofil 3 Beidseitige Erhöhung der bestehenden Wuhre um 3 m;

Normalprofil 4 Erhöhung des heutigen rechten Wuhres um 3 m.

Um der oben schon erwähnten Tatsache Rechnung zu tragen, dass sich der Wasserspiegel seit 1926 am untern Ende

