Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 109/110 (1937)

Heft: 14

Artikel: Die Internationale Rheinregulierung vor der Illmündung bis zum Bodensee

Autor: Einstein, A.H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-49126

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: 10.12.2025

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

INHALT: Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee. — Theoretische Betrachtungen zum Geschiebetrieb. — Kleinhaus in Holzbauweise. — Von den französisch-italienischen Alpenstrassen. — Zum Ausbau der Strasse Bargen-Zollhaus. — Mitteilungen: Elektrischer Betrieb auf der Strecke Paris-Le Mans der französischen Staatsbahnen. Ingenieurtagungen in Düsseldorf. Grosse Wasserleitungen in Kalifornien. Pumpen-Spiralgehäuse mit Drallströmung. Das Unglück beim Bau der Nord-Süd-«S»-Bahn in Berlin. Eine federnde Strassenabschrankung. Konservieren von Holzmasten mittels Schweissbrennern. Flugzeuge mit Bugrad. Kurs für gewerbl. Atemschutz und Rettungsgasschutz. Thurgauisches Regierungsgebäude. Möbelwettbewerb. — Wettbewerbe: Reformiertes Kirchgemeindehaus mit Pfarrhausanbau in Bern. — Nekrologe: Paul de Chambrier. Gust. Thurnherr. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. Sitzungs- und Vortrags-Kalender.

Band 110 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. 14

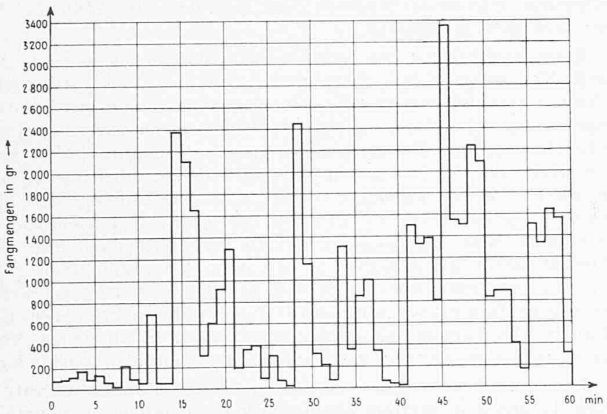


Abb. 48. Verlauf der Fangergebnisse während einer Stunde

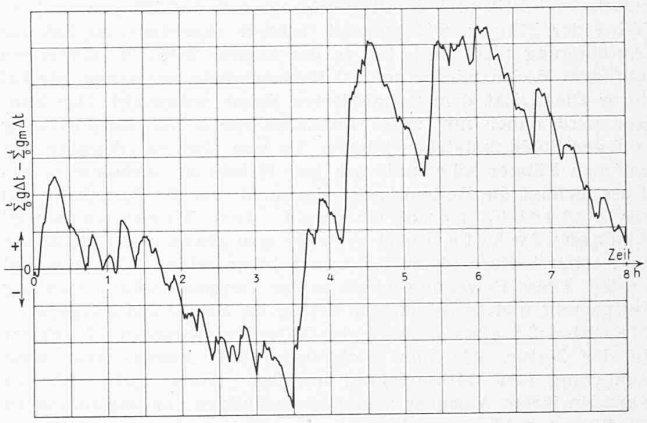


Abb. 49. Zeitlicher Verlauf der Geschiebefracht während 8 Stunden

Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee

IV. Die Eichung des im Rhein verwendeten Geschiebefängers

Von Dr. A. H. EINSTEIN, Ingenieur der Versuchsanstalt für Wasserbau, E. T. H. Zürich

Da die Eichung eines Geschiebefängers, im Gegensatz zu fast allen andern Eichungen, auf prinzipielle Schwierigkeiten stösst, soll ihr ein besonderer Abschnitt gewidmet werden.

Um einen Geschiebefänger zu eichen, der den an einer bestimmten Sohlenstelle zu einer bestimmten Zeit vorhandenen Geschiebetrieb messen soll, müssen wir mit dem Fänger einen uns bekannten Geschiebetrieb messen und das Messergebnis mit der tatsächlichen Grösse des Triebes vergleichen. Das Ergebnis dieses Vergleiches, der «Wirkungsgrad» (η), gibt an, wieviel Prozent des an der betreffenden Stelle laufenden Geschiebes der Fänger fängt, wobei sich dieser Wirkungsgrad auf die ganze Mischung oder auf einzelne Kornkategorien innerhalb der Mischung beziehen kann. Stets sollen aber in diesem Kapitel zur Bestimmung eines Wirkungsgrades nur Fangmenge und tatsächlicher Trieb des s e l b e n Korngrössenbereiches verglichen werden.

Im Fluss ist die Durchführung der Geschiebefängereichung ausgeschlossen, weil wir dort den tatsächlichen Geschiebetrieb nicht kennen[6]). In der Versuchsanstalt hingegen können wir den tatsächlichen Geschiebetrieb willkürlich erzeugen. Die genaue Messung des vorhandenen Triebes erfolgte bei diesen Versuchen durch Ablagerung des Geschiebes am untern Ende des Kanals in einem Sammelsilo, der periodisch entleert wurde.

Die erwähnte prinzipielle Schwierigkeit liegt in der Messung des tatsächlich vorhandenen Geschiebetriebes. Wollen wir nämlich den Wirkungsgrad bei einer einzelnen Entnahme bestimmen, so müssen wir, streng genommen, das Fangergebnis mit jenem Geschiebetrieb vergleichen, d e r s i c h e i n g e s t e l l t h ä t t e, w e n n d e r F ä n g e r n i c h t d a g e w e s e n w ä r e, also dem ungestörten Trieb. Dessen Bestimmung ist nun deshalb so schwierig, weil er sowohl örtlich wie zeitlich ungeheuren Schwankungen unterworfen ist. Diese lassen sich am deutlichsten gerade mit dem Geschiebefänger selbst zeigen, der, wie die Anschauung lehrt, diesen Verlauf gut wiedergibt. So zeigt z. B. Abb. 48 den Verlauf des Fangergebnisses und damit des lokalen Geschiebetriebes während einer Stunde. Dabei waren die hydraulischen Verhältnisse, die ja das Mass des m i t t l e r e n Geschiebetriebes bestimmen, während dieser Zeit völlig konstant. Mit diesem Eindruck stimmen die entsprechenden Messungen im Rhein, die Oberbaurat F. Nesper in Abb. 41 gibt, überein. Um zu untersuchen, ob wenigstens der Mittelwert des Geschiebetriebes, den wir in dieser Stunde erhalten, durch die Wasserabflussverhältnisse genügend genau gegeben wird, haben wir in Abb. 49 als Ordinaten in jedem Zeitpunkt den Ausdruck

$$\sum_0^t g\,\Delta t - \sum_0^t g_m\,\Delta t$$

aufgetragen, worin g der tatsächliche Geschiebetrieb an der betreffenden Stelle und g_m sein zeitlicher Mittelwert ist. Wir sehen, dass ausser den in Abb. 48 geahnten Schwingungen von 10 ÷ 20 min Dauer der Geschiebetrieb noch allen möglichen andern Schwingungen unterworfen ist; er ist eben eine statistische Grösse. Abb. 50 zeigt unten den Verlauf der zweistündigen Mittel des tatsächlichen Geschiebetriebes, der erkennen lässt, dass in diesem speziellen Fall eine grosse Schwingung von rd. 20 h Periode vorherrscht, der, wie wir oben sehen, die Zusammensetzung des transportierten Materials scharf folgt.[7])

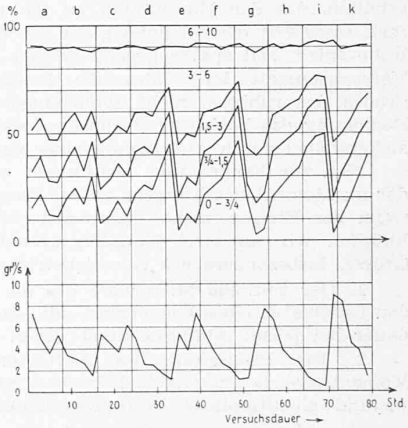


Abb. 50. Geschiebetrieb und Analysen in zweistünd. Mitteln, während 80 Stunden

Eine erste Folge der unter diesen Umständen sehr langwierigen Versuche fällt in den Winter 1934/35 und führte im März 1935 zu dem vorläufigen Ergebnis eines Wirkungsgrades, der, im Mittel für das Rheingeschiebe in der Nähe von 40 % liegend, vom Geschiebetrieb etwas, von der Korngrösse aber stark und von der Fangdauer nicht abhängig ist. Diese Resultate müssen heute noch als im Prinzip massgebend angesehen werden, nachdem sie durch neuere, genauere Versuchsreihen erhärtet sind. Sie passen jedoch nicht zusammen mit den im Januar 1936 bekantgegebenen, im Jahre 1935 ausgeführten Messungen der Rheinbauleitung Bregenz. Insbesondere ergaben die Naturmessungen eine sehr deutliche Abhängigkeit der sekundlichen Fangmenge von der Fangdauer, die sich auf Grund der Eichung nicht deuten liess.

Bei einer gemeinsamen Besprechung aller Beteiligten im Januar 1936 wies Oberbaurat Nesper auf die Aufhängung des Korbes als mögliche Ursache des Widerspruchs hin. Die nach dieser Besprechung wieder aufgenommenen und vom Verfasser zusammen mit Dipl. Ing. E. Bucher durchgeführten Eichmessungen in der Versuchsanstalt für Wasserbau ergaben, dass

[6]) Die sog. Eichungen oder Eichmessungen Mühlhofers sind, genau genommen, gar keine Eichungen, sondern Vergleichsversuche und gestatten nur, von einem bekannten auf einen andern Wirkungsgrad zu schliessen.

[7]) Diese letzte Auftragung bezieht sich auf die Siloablagerung und ist den Geschiebetriebversuchen der Versuchsanstalt entnommen, weil bei den Eichversuchen nie so lange hintereinander der selbe Abflusszustand herrschte, als dass man diese langen Schwingungen gut hätte zeigen können.

der Apparat unter Umständen »schürft», nämlich dann, wenn die vordere Verspannung des Fängers elastisch ist. Im Rhein mit dem 270 m langen Fährseil ist dies in hohem Grade der Fall, während bei den ersten Versuchen in der Versuchsanstalt diese Verspannung als starr bezeichnet werden kann. Die Elastizität der Verspannung hat nämlich zur Folge, dass der Fänger beim Herunterlassen durch das Wasser abgetrieben wird und zwar, entsprechend den relativ grossen Wassergeschwindigkeiten der oberen Schichten, sehr stark. Nahe der Sohle wird die Wassergeschwindigkeit und damit die Kraft auf den Fänger kleiner. Wird der Fänger, wie zumeist, schnell abgesenkt, so hat die Aufhängung nicht Zeit, ihn in der kurzen Zeit vor Auftreffen auf dem Boden wieder so viel flussaufwärts zu ziehen, als bei ihrer Elastizität dem verminderten Schub entspricht. Der Fänger wird daher nur unter Zuhilfenahme seiner Bodenreibung auf der Sohle feststehen können. Da nun aber der Wasserdruck auf den Fänger schwankt, wie jede Grösse im turbulenten Abfluss, genügt die Reibung zeitweise nicht, um ihn zu halten, und er rutscht, gezogen von der Verspannung, flussaufwärts. Dabei gräbt er sich etwas in die Sohle ein und schürft diese ab, wobei er scheinbar seinen Wirkungsgrad erhöht. Diese Bewegung wurde in der Versuchsanstalt erstmalig festgestellt und gemessen. Sie betrug im Modell des Fängers im Masstab 1:2,5 etwa 3÷4 cm im Mittel, entsprechend 7÷10 cm in der Natur. Als nun noch festgestellt wurde, dass diese Schürfung den Wirkungsgrad um 200 % und mehr erhöhen kann, in ihrem Ausmass aber von unzähligen unkontrollierbaren Einflüssen abhängt, gab man die Eichung des schürfenden Fängers als aussichtslos auf und versuchte, den Fänger auch in der Natur am Schürfen zu verhindern. Dies gelang, wie in Kapitel III ausgeführt, insofern, als es durch Verspannung möglich wurde, wenigstens die Elastizität des Fährseils auszuschalten, das den Hauptanteil an die gesamte Elastizität liefert. Inwieweit die Nachgiebigkeit des Zugseils selbst noch eine Rolle spielt, soll später gezeigt werden. Die Hauptaufgabe der Versuchsanstalt blieb also die Bestimmung des Wirkungsgrades des ruhigen, nicht schürfenden Geschiebefängers. Die Bedingung des Nicht-Schürfens liess sich im Modell sehr leicht sicherstellen durch Anbringung einer zusätzlichen Verspannung.

Nun zur Frage: Wie bestimmen wir den Geschiebetrieb, der im Moment des Fangens an der Fangstelle geherrscht hätte, wenn der Fänger nicht dagewesen wäre? Zu ihrer Lösung knüpfen wir an zwei Haupteigenschaften jeder statistischen Grösse, insbesondere des Geschiebetriebs, an.

1. Der zeitliche Mittelwert des an einer Stelle herrschenden Geschiebetriebes konvergiert mit wachsender Beobachtungsdauer bei jedem Abflusszustand gegen einen Festwert.

2. Die Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Momentanwerte im Geschiebetrieb ergibt eine jedem Abflusszustand eigentümliche Wahrscheinlichkeitsverteilung.

Wir dürfen demnach den Mittelwert des lokalen Geschiebetriebes, sowie Art und Grösse seiner Schwankung aus irgend einem andern Versuch mit gleichen Abflussbedingungen übernehmen, da dies für den Abflusszustand charakteristische Konstante sind.

Um den dem Mittelwert entsprechenden, oder kurz gesagt, den mittleren Wirkungsgrad des Fängers zu bestimmen, müssen wir also den mittleren lokalen Geschiebetrieb des betreffenden Wasserabflusses mit der mittleren sekundlichen Fangmenge vergleichen. Hierbei ist aber sehr wichtig, dass man über sehr lange Zeiten misst, also z. B. im Falle der Abb. 50 über eine Zeit, die ein Mehrfaches der grössten Schwingungen beträgt, da nur dann kein Fehler aus der zufälligen Phase des Versuchsbeginns, bzw. -Endes entsteht. Die sich aus dieser Bedingung ergebende Messzeit von vielleicht 50 Stunden ist aber praktisch unzulässig.

Eine Verkürzung des Verfahrens gelang auf Grund der durch Kontrollversuche bestätigten Annahme, die stündliche Gesamtgeschiebemenge, die der Kanal bei einer bestimmten Wassermenge abzuführen gestattet, werde durch das zeitweilige Vorhandensein des Fängers nicht geändert. Daher ist es nur notwendig, die Verteilung der Geschiebeabfuhr über die Breite des Kanals durch besondere Versuche zu bestimmen, um den lokalen Geschiebetrieb zu kennen. Die Gesamtgeschiebeabfuhr des Kanals lässt sich dann direkt in den Versuchen mit Geschiebefängertätigkeit selbst als zu den Fangergebnissen zugehörige Gesamtabfuhr im Silo ermitteln. Auf diese Weise wurde eine Reihe von Abflusszuständen untersucht, deren Resultate in der Tabelle zusammengestellt sind. In all diesen Versuchen war der Fänger vollkommen am Schürfen verhindert.

Den über 1 m langen und 50 cm breiten Fänger in Naturgrösse in den 2 m breiten Versuchskanal zu hängen, war wegen der grossen zu erwartenden Störung des Wasserabflusses nicht möglich. So entschloss man sich, die Eichung im Masstab 1:2,5 der Natur durchzuführen. Dieser Masstab stellt einen Kompromiss dar, indem im Interesse eines grösseren Geschiebekorns darauf verzichtet wurde, die Wassertiefen richtig nachzubilden. Um trotzdem die gewünschten Geschiebemengen zu bewegen, musste man mit dem Gefälle etwas höher gehen als in Natur. Um über die Aehnlichkeit der Nachbildung einigen Aufschluss zu erhalten, wurden eine Reihe Versuche mit einem Fänger 1:5 der Natur durchgeführt. Das in Abb. 51 gezeigte dritte Modell im Masstab 1:10 diente zur Durchführung von Vorversuchen in einer kleinen Rinne. Abb. 52 zeigt das Modell 1:2,5, das sehr genau der Naturausführung nachgebildet ist, in Arbeitsstellung. Als Sohle wurde in den Versuchen E_0 — E_{12} eine dem Naturgemisch 0 ÷ 100 mm[8]) im Masstab 1:2,5 ähnlich nachgebildete Mischung 0 ÷ 40 mm verwendet. In denjenigen Versuchen, die hauptsächlich der Untersuchung des Fängers 1:5 galten (Versuche E_4 bis E_8), wurde auch die Sohle 1:5 nachgebildet und hatte somit Korngrössen von 0—20 mm.

Die Resultate der Tabelle, in Abb. 53 aufgetragen, ergeben ein sehr unregelmässiges Bild. Bei näherer Betrachtung können wir aber die Kurven in drei Gruppen ordnen:

1. Gruppe, steigende Tendenz, Kurven 4 und 6,
2. Gruppe, horizontale Tendenz, Kurven 5 und 8,
3. Gruppe, fallende Tendenz, Kurven 7, 9, 10, 11 und 12.

[8]) Korngrössen über 100 mm spielen für die Gesamtmenge keine Rolle.

Zusammenstellung der Eichversuche mit am Schürfen verhindertem Fänger

Versuch Nr.	Korn mm	Gesch. trieb gr''/ms	Wasser-tiefe m	Vers.-dauer Std.	Fänger	Fang-dauer sec	Wirkungsgrad im Korngrössen-Intervall								Bemerkungen
							3/4—1 1/2	1 1/2—3	3—6	6—12	12—24	24—40	3/4—20	1 1/2—40	
E 4	0—20	53,5	1,20	16	1:2,5	30	11,1	26,4	33,7	40,1	41,6	—	31,8	—	
					1:5	30	25,2	28,5	35,3	43,5	47,9	—	35,6	—	
E 5	0—20	49,3	0,50	16	1:2,5	30	29,4	47,4	45,4	39,2	34,9	—	42,3	—	
					1:5	30	40,9	47,0	45,5	47,6	43,0	—	45,6	—	
E 6	0—20	8,9	0,50	32	1:2,5	75	13,2	34,7	41,6	53,0	64,6	—	37,2	—	
					1:5	75	28,5	30,5	39,1	52,5	55,4	—	36,8	—	
E 7	0—20	145	0,50	8	1:2,5	30	32,8	61,4	43,1	31,9	23,4	—	39,9	—	
					1:5	30	39,4	58,0	42,3	30,1	18,8	—	39,0	—	
E 8	0—20	168	1,20	8	1:2,5	30	27,7	53,6	54,3	50,1	48,9	—	52,0	—	*)
					1:5	30	26,0	33,3	36,0	36,2	33,6	—	35,2	—	
E 9	0—40	379	1,00	8	1:2,5	30	—	92,4	77,1	46,5	28,4	41,1	—	49,3	*)
					1:5	30	—	39,1	36,6	26,7	15,6	19,7	—	24,8	
E 10	0—40	387	1,00	8	1:2,5	15	—	76,8	63,5	41,3	30,5	56,2	—	46,8	*)
					1:5	15	—	54,0	48,0	34,3	23,3	34,3	—	35,2	
E 11	0—40	143	1,00	8	1:2,5	30	—	91,8	64,5	34,3	29,7	44,6	—	45,3	
					1:5	30	—	84,4	57,5	29,7	30,7	23,0	—	40,9	
E 12	0—40	148	1,00	8	1:2,5	30	—	77,2	61,5	43,8	43,0	54,1	—	52,4	* Fänger zu stark gefüllt
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

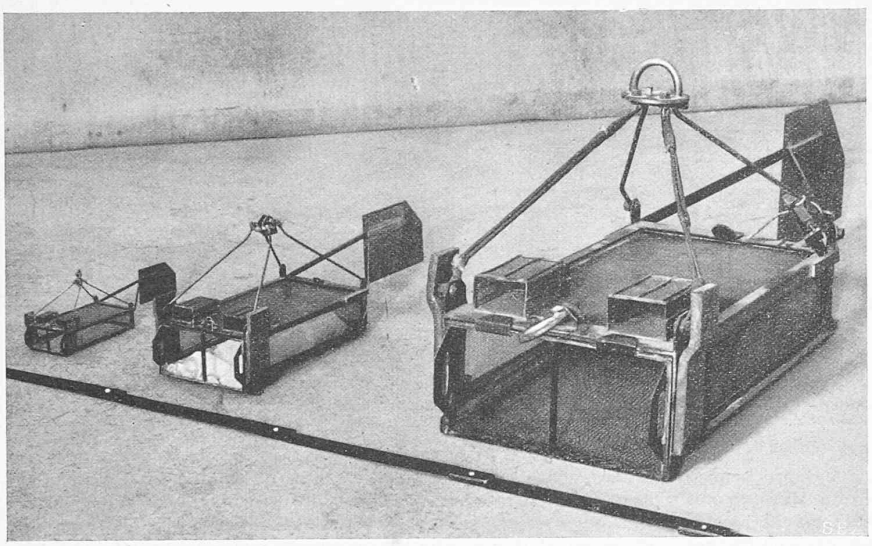


Abb. 51. Geschiebefänger-Modelle im Masstab 1 : 10 (links), 1 : 5 und 1 : 2,5 (rechts)

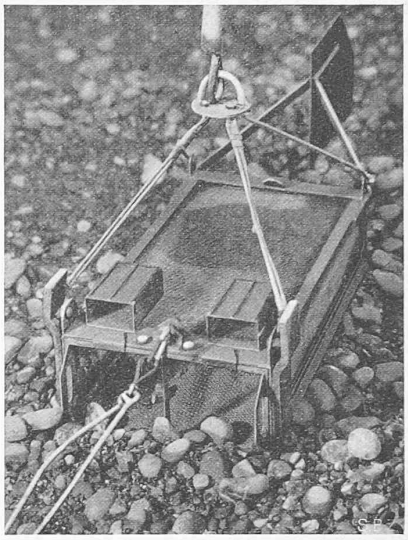


Abb. 52. Geschiebefänger-Modell 1 : 2,5

Beachten wir nun noch, dass die Versuche 4 und 8, bzw. 5, 6 und 7, bzw. 9, 10, 11 und 12 jeweils in Korn und Wassertiefe übereinstimmen, so konstatieren wir mit steigendem Trieb ein Ansteigen in der Gruppenordnung in der Art, dass bei kleinem Geschiebetrieb die Tendenz vorliegt, mehr grobe Geschiebe zu fangen und bei grossem Geschiebetrieb mehr feine. Wir können aber nicht angeben, bei welchem Geschiebetrieb z. B. eine Kurve der Gruppe 2 entsteht, da dieser wieder je nach Wassertiefe wechselt. Merkwürdig ist auch, dass alle Kurven mit Material 0 ÷ 40 mm auffallend gleichartig verlaufen.

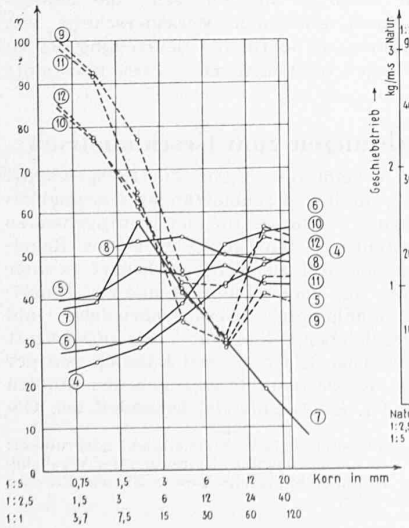
Solange nicht mehr Versuche in dieser Richtung vorliegen, werden wir also darauf verzichten müssen, den Wirkungsgrad der angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Korn gefangen wird, für die einzelnen Korngrössen individuell anzugeben. Aus den stark wechselnden Formen dieser Kurven schliessen wir, dass die Analyse des gefangenen Materials gar nicht derjenigen des laufenden zu entsprechen braucht. Fängt man also z. B. am Rhein bei kleinen Mengen stets nur grobes Korn, während bei grösseren Mengen derselben Reihe auch die feinen Körner vertreten sind, so braucht das noch gar nicht zu heissen, dass im ersten Falle nur grobes Korn läuft. Vielmehr kann gerade bei kleinem Trieb entsprechend unseren Feststellungen eine Wirkungsgradkurve der Gruppe 1 vorliegen, die die groben Körner extrem bevorzugt, während wir dann bei grösserem Trieb in das Gebiet der Gruppe 2 oder sogar 3 geraten, wodurch die starke Häufung an feinem Material erklärlich würde.

Ein Vergleich der Versuche 9 und 10, die sich nur durch die Fangdauer unterscheiden, zeigt, dass diese auf den Wirkungsgrad keinen Einfluss hat. Wir müssen bei diesem Vergleich nur die grossen Fänger miteinander vergleichen, da die kleinen fehlerhaft sind, wie weiter unten noch nachgewiesen wird. Der kleine Unterschied zwischen 46,8 und 49,3 % ist normale Schwankung und läuft zudem umgekehrt, als es einem Schürfen oder einer ähnlichen Anfangsfüllung entsprechen würde. — Interessant ist ferner, dass der Abflusszustand dieser beiden Versuche 9 und 10 (grosser Fänger), abgesehen von der gleichbleibenden Kanalbreite, dem des Versuches 7 (kleiner Fänger) ähnlich ist:

Grosser Fänger : kleiner Fänger = 2 : 1
Wassertiefe 9 und 10 : Wassertiefe 7 = 2 : 1
Geschiebetrieb 9 und 10 : Geschiebetrieb 7 = 2,65 : 1, bezw. etwa $2^3/^2$: 1. Somit gehören auch alle Kurven zu Gruppe 3.

Den früher angegebenen Wirkungsgraden der Versuche 9 und 10 steht bei Versuch 7 ein solcher von 39 % gegenüber. Besser stimmen die Versuche 5 und 11 überein, bei denen sich die Zahlen 45,6 und 45,3 % gegenüberstehen. Dafür stimmt aber in diesem Falle die Form der Kurven nicht, sodass wir also auch in der Uebertragung der Resultate von einem Masstab in den andern, insbesondere also in die Natur, gewisse Schwierigkeiten antreffen.

Um nun aber doch einen gewissen Begriff davon zu bekommen, welche der Eichversuche, insbesondere welche Gruppe in der Natur besonders wichtig ist, sind in dem Diagramm Abb. 54 die bei den verschiedenen Wassertiefen und Geschiebetrieben gefundenen Mittelwerte von n aufgetragen. Hierbei wurde der Geschiebetrieb und die Wassertiefe im Modellmassstab des jeweiligen Kornes aufgetragen. In diesem Diagramm sehen wir noch besser, wie bei gegebener Wassertiefe der Wirkungsgrad je nach Geschiebetrieb schwankt, sodass also bei Auswertung der Naturmessung innerhalb derselben Messung von Punkt zu Punkt ein anderer Wirkungsgrad wirksam wäre. Um diese Variation des Wirkungsgrades aber über den ganzen in Frage kommenden Bereich genügend genau zu erfassen, wäre eine Unzahl von Versuchen nötig. Doch sind an den verschiedenen Stellen des Diagramms immer wieder ähnliche Zahlen zu treffen, sodass wir ohne prinzipiellen Fehler in dem ganzen Bereich mit einem mittleren Wirkungsgrad rechnen dürfen. Auf diese Weise erhalten wir wohl den Gesamtgeschiebetrieb genau (bei genügend langer Messdauer), die örtliche oder zeitliche Verteilung des Geschiebetriebes jedoch nur mit einer gewissen Annäherung. Um diesen mittlern Wirkungsgrad, der sich dann in Natur auf die Summe der Korngrössen von 3,7 ÷ 100 mm bezieht, also angibt, wieviel Prozent des laufenden Materials dieses Korngrössenbereiches gefangen werden,



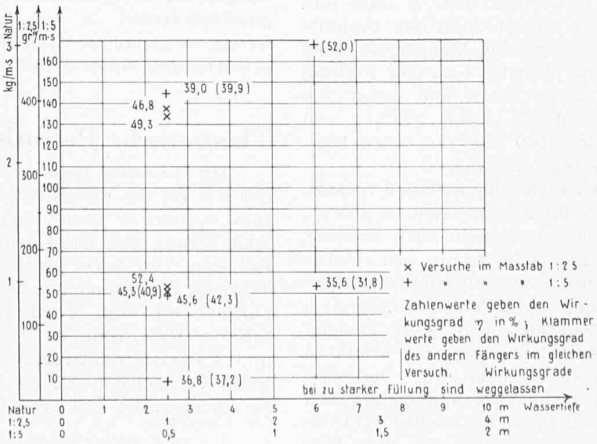


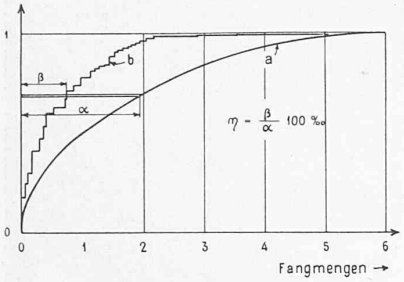
Abb. 54. Mittlere Wirkungsgrade des Fängers in Funktion der Wassertiefe und des Geschiebetriebes

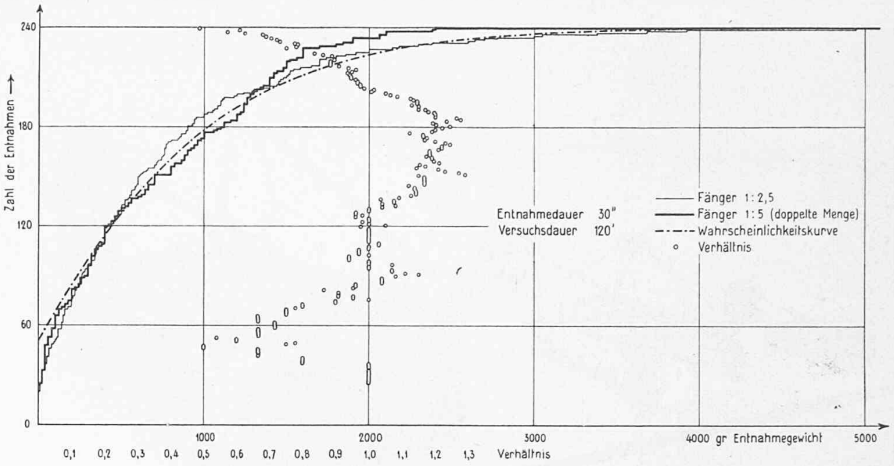
Abb. 53 (links). Wirkungsgrade in Funktion der Korngrösse

Eichung des im Rhein verwendeten Geschiebefängers

Abb. 56 (rechts). Dauerkurve der Fangmengen

Abb. 55 (unten). Wahrscheinlichkeit des Unterschreitens einer Fangmenge





möglichst richtig zu erhalten, mitteln wir die entsprechenden Wirkungsgrade jeweils desjenigen Fängers, der im Masstab mit dem Kies übereinstimmt. Eine einzige Ausnahme macht hierbei Versuch 8, bei dem wir trotz feinen Kornes den grossen Fänger nehmen müssen, da der kleine nicht richtig gearbeitet hat. Dieser Mittelwert ist 45 % und somit etwas höher als der in der Versuchsreihe von 1935 ausgewiesene Wert von rd. 40 %. Diese Zahl 45 ist nun also zur Bestimmung des mittleren Geschiebetriebes im Querschnitt brauchbar und gestattet damit, die Geschiebefunktion und die Geschiebefracht zu errechnen.

Ein wesentlicher Punkt bleibt zu klären. Er betrifft die Bemerkung in der Tabelle: «Fänger zu stark gefüllt». Zu seinem Verständnis müssen wir an die zweite, bisher nicht verwendete, allgemeine Haupteigenschaft statistischer Grössen anknüpfen. Nach dieser ist nicht nur der Mittelwert des Geschiebetriebes bei einem bestimmten Wasserabfluss in der Grenze (für sehr lange Beobachtungsdauer) ein Festwert, sondern auch die Häufigkeit einzelner Abweichungen von diesem Mittelwert folgt einem ganz bestimmten Gesetze. Abb. 55 soll dies schematisch erläutern. Kurve a gibt die Summenlinie dieser Häufigkeiten, d. h. sie gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Geschiebetrieb (in Fangmenge ausgedrückt) unterschritten wird. Tragen wir in dieses Diagramm die nach Grösse geordneten Messwerte einer Versuchsserie auf (Kurve b), so können wir direkt für jeden momentanen Trieb auf derselben Horizontalen die zugehörige tatsächliche Füllung bestimmen und aus beiden den zu dieser Füllung gehörigen Wirkungsgrad rechnen. Tritt nun der Fall ein, dass von einer bestimmten Füllung an der Wirkungsgrad plötzlich systematisch sinkt, so ist nachgewiesen, dass dies die höchste zulässige Füllung ist, wenn wir die normalen Wirkungsgrade verwenden wollen.

Leider steht uns bei den Eichversuchen so wenig wie bei den Naturmessungen diese Kurve a zur Verfügung. Fangen wir aber mit dem grossen und kleinen Fänger abwechslungsweise in dem selben Versuch, dann ist die zu beiden Fängern gehörige Kurve a dieselbe. Ist der zulässige Füllungsgrad entsprechend auch gleich, so wird dieser beim kleinen Fänger schon bei einer viermal kleineren Füllung (bezogen auf den Meter Breite) eintreten als beim grossen und daher auch durch Vergleich dieser beiden Kurven sichtbar werden. Abb. 56 zeigt nun so eine Gegenüberstellung der beiden Fänger und das Verhältnis der jeweils auf einer Horizontaen liegenden Mengen ist auch eingezeichnet. Wir sehen deutlich, wie plötzlich bei einer Füllung von 600 gr der kleine Fänger zu wenig fängt und damit die Kurve der Verhältnisse nach links abbiegt. Diese Füllung von 600 gr oder rd. 330 cm³, oder ⅓ des 1000 cm³ fassenden Fängers, wurde von uns als höchstzulässige angesehen.

Damit ist nun gezeigt, wie sich ein Geschiebefänger verhält, der auf der Sohle absolut ruhig liegt. Es ist nun noch zu prüfen, ob diese Bedingung bei den Messungen im Rhein auch tatsächlich erfüllt war. Die bezügliche Beobachtung in der Natur musste sich auf den Befestigungspunkt des Zugseils am Fährseil beschränken, da eine Beobachtung unter Wasser unmöglich war. Allerdings besitzt auch das Zugseil noch eine gewisse Elastizität und kann daher noch einen allerdings beschränkten Schürfeffekt hervorbringen. Vergleichsversuche mit verschieden dicken Zugseilen und ohne zusätzliche Verspannung ergaben in der Versuchsanstalt die Möglichkeit, durch Elastizität (Durchhang) des Zugseils allein den Wirkungsgrad bis auf 80 % hinaufzudrücken. Es ist deshalb zu vermuten, dass eine, wenn auch geringe Schürfwirkung im Rhein auch jetzt noch vorhanden ist, sodass wir also wahrscheinlich mit einem höheren Wirkungsgrad rechnen müssen, als das oben errechnete Mittel von 45 %. Das Mass dieser restlichen Schürfwirkung könnte aber nur im Fluss selbst durch sehr langwierige Vergleichsversuche mit verschiedenen Zugseilen ermittelt werden. Auch die Resultate der im Rhein vorgenommenen Kontrollversuche mit verschiedener Fangdauer streuen so stark, dass z. B. eine 10prozentige Schürfwirkung aus ihnen nicht feststellbar ist.

Normalerweise wollen wir mit dem Geschiebefänger nur den einem Wasserabfluss zugehörigen mittleren Geschiebetrieb bestimmen. Wieviele Messungen sind pro Punkt nötig, und über welche Zeitdauer sind sie zu erstrecken? Stützte man sich bei den Messungen im Rhein in dieser Frage im wesentlichen auf den Gang der im Kapitel III erwähnten Schwingungen, was immerhin als eine ziemlich subjektive Beurteilung des Messenden bezeichnet werden muss, so sei hier auf ein anderes Kriterium hingewiesen. An anderer Stelle[1]) ist nachgewiesen worden, dass man mit guter Annäherung die Kurven der Abb. 56 als eine Wahrscheinlichkeitsverteilung, definiert durch zwei Grössen (Mittelwert und Streuung), auffassen kann. Es muss dies besonders betont werden, da es sich hier um einen periodischen Vorgang handelt. Nun brauchen wir nur zu kontrollieren, wie gut sich die Messungen der zugehörigen Wahrscheinlichkeitskurve anpassen, um ein Mass für die Genauigkeit des Mittelwertes zu erhalten. In Abb. 56 ist diese gerechnete Wahrscheinlichkeitskurve auch gegeben (gerechnet als Ausgleich der Messresultate des grossen Fängers). Sind die Abweichungen der empirischen Kurve viel grösser als dort, so dürfen wir mit ziemlicher Berechtigung an der Genauigkeit des entsprechenden Mittelwertes zweifeln, sei es, dass der Fänger nicht richtig arbeitete, oder dass der Geschiebetrieb besonders ungünstig verlief.

Kurz zusammenfassend können wir also sagen, dass Messungen mit Geschiebefängern geeignet sind, uns über das Wesen und die Art des Geschiebetriebes im Flusse sehr wertvolle Einblicke zu verschaffen, besonders was den zeitlichen Verlauf des Triebes betrifft. Doch dürfen wir in bezug auf Genauigkeit der Messresultate keine zu grossen Forderungen stellen, da der Geschiebetrieb selbst ausserordentlich grossen Schwankungen ausgesetzt ist. Immerhin sollte es möglich sein, die Jahresgeschiebefracht in so einem günstigen Messquerschnitt wie Brugg so genau zu bestimmen, als es für die Beurteilung der zu erwartenden Sohlenänderungen notwendig ist. (Schluss folgt)

Theoretische Betrachtungen zum Geschiebetrieb

Mit anderen Massenerscheinungen teilen die Kiesgewichte, die ein auf die Flussohle gestellter Geschiebefänger jedesmal zutage fördert — siehe etwa Abb. 48, S. 167 der vorangehenden Abhandlung von Dr. Einstein — , den Charakter wilder Regellosigkeit. Um davor nicht den Mut zu verlieren, bedarf es einer Theorie: des Versuches, aus der verworrenen Menge von Einzelzufällen ein vom Zufall unabhängiges Gesetz abzuziehen und mit der Erfahrung zu vergleichen. Eine mit Vorstellungskraft und Scharfsinn entworfene Theorie ist in zwei kürzlich von der Eidg. Versuchsanstalt für Wasserbau herausgegebenen Studien zu finden[1]): die eine, von Dr. *H. A. Einstein*, behandelt den Ge-

[1]) *A. H. Einstein:* Der Geschiebetrieb als Wahrscheinlichkeitsproblem; *G. Pólya:* Zur Kinematik der Geschiebebewegung. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau an der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich. Rascher & Co., Zürich 1937. Preis geh. 5 Fr.