

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109/110 (1937)
Heft: 12

Artikel: Die Internationale Rheinregulierung von der Rheinmündung bis zum Bodensee
Autor: Nesper, Felix
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49119>

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: 14.01.2026

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

INHALT: Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee. — Holznagelbau an der Pariser Ausstellung. — Wohnungen für alte Ehepaare und Alleinstehende. — Mitteilungen: Die Messtechnik der Lichtinterferenzen. Die elektrische Energie Italiens. Das

Fernheizkraftwerk der Stadt Lausanne. Hochdruck-Turbokompressor für Pressluftherzeugung. Persönliches. Kaufhaus Schunck in Heerlen (Holland). Ein Hallenstadion in Zürich.

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. 12

Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee

III. Ergebnisse der Messungen über die Geschiebe- und Schlammführung des Rheines an der Brugger Rheinbrücke

Von Regierungsoberbaurat Ing. FELIX NESPER, Rheinbauleiter in Bregenz

(Fortsetzung aus Bd. 109, S. 218)

Einleitung. Ueber Beschluss der Internat. Rheinregulierungs-Kommission wurde die Rheinbauleitung Bregenz im Sommer 1933 ermächtigt, an der Rheinbrücke in Brugg Messungen der Geschiebe- und Schwemmstoffführung des Rheines in ähnlicher Weise durchzuführen, wie sie in den letzten Jahren von Ministerialrat Ing. Ehrenberger an der Donau bei Wien¹⁾ und von Dr. Ing. Mühlhofer am Inn bei Kirchbichl²⁾ vorgenommen wurden.

Da sich die Anlieferung der zur Einrichtung der Messstelle notwendigen Materialien bis in den Herbst hinein verzögerte, konnten im Jahre 1933 nur einige Probemessungen vorgenommen werden. Im Jahre 1934 war die Wasserführung des Rheines verhältnismässig gering. Pegelstände über 5,00 m am Pegel Brugg traten nur während kurzer Zeiträume auf, sodass auch den Messungen ziemlich enge Grenzen gezogen waren. Trotzdem wurden insgesamt 5 Querprofilaufnahmen, 9 Wassermessungen, 18 Geschiebevollmessungen, 1 Dauermessung und 8 Schlammvollmessungen ausgeführt. Ausserdem wurden die morphologischen Erhebungen auf den Kiesbänken des Rheins zwischen der österreichisch-lichtensteinischen Grenze und der Mündung am See, die erstmals im Herbst 1933 durchgeführt worden waren, wiederholt. — Im Jahre 1935 wurden die Messungen in Brugg in gleicher Art und Weise fortgesetzt. Der grösseren Wasserführung entsprechend erfolgten in diesem Jahre 8 Querprofilaufnahmen, 6 Wassermessungen, 53 Geschiebevollmessungen, 2 Dauermessungen und 5 Schlammvollmessungen. Ausserdem wurde ab 30. März täglich einmal in der Messlotrechten V, möglichst nahe der Wasseroberfläche, in der Mitte der jeweiligen Wassertiefe und nahe der Sohle je eine Schlammprobe entnommen. Bei starker Schlammführung wurde täglich mehrmals geschöpft.

Obwohl das Ausmass des bei den Messungen in Brugg verwendeten Fangkorbes grösser ist (1,00 m × 0,50 m × 0,25 m) als das des von Dr. Ing. Mühlhofer am Inn verwendeten Gerätes (0,45 m × 0,25 m × 0,135 m) und naturgemäss auch die Wasser- und Geschiebeführung des Rheins von der des Inn wesentlich verschieden ist, ergab eine nach Dr. Ing. Mühlhofer durchgeführte Kontrollmessung zur Bestimmung des Einflusses der Fangdauer (im Folgenden kurz Kontrollmessung genannt) eine Kurve, die mit der von ihm am Inn für sein Gerät erhobenen nahezu völlig übereinstimmte. Diese überraschende Feststellung veranlasste die Rheinbauleitung Bregenz, von einer Eichung des Gerätes in der Natur überhaupt abzusehen und mit Zustimmung der I. R.-K. die Versuchsanstalt für Wasserbau in Zürich zu ersuchen, im Zusammenhang mit ihren anderweitigen Untersuchungen über den Geschiebetrieb auch die Eichung des Fanggerätes der Rheinbauleitung Bregenz durchzuführen. Ende März 1935 erhielt die Rheinbauleitung Bregenz Mitteilung über die bisherigen Ergebnisse der Eichung.

Während sich aus den Kontrollmessungen in der Natur zunächst übereinstimmend mit Dr. Ing. Mühlhofer ergeben hatte, dass das Fangergebnis von der Fangdauer abhängig ist, stellte die Versuchsanstalt Zürich in Uebereinstimmung mit den Eichversuchen des Ministerialrates Ing. Ehrenberger fest, dass eine solche Abhängigkeit für das verwendete Gerät nicht vorhanden sei. Von der Versuchsanstalt Zürich wurde der Wirkungsgrad des Fangkorbes als von der Korngrösse abhängig, im Mittel mit etwa 40 % erhoben, während sich aus den Messungen in der Natur in Verbindung mit den Erhebungen von Ing. Ehrenberger und Dr. Ing. Mühlhofer, wie weiter unten noch erläutert wird, ein Wirkungsgrad von rund etwa 100 % ergab. Auffallend war auch, dass die Auftragung der

mittleren Fangergebnisse in Beziehung zur Wasserführung in Brugg, ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrades des Gerätes, verhältnismässig grosse Streuungen zeigte.

Diese Unstimmigkeiten gaben zu allerlei Untersuchungen Anlass, die schliesslich dazu führten, ihre Ursache in der Art der Aufhängung des Gerätes zu finden. Ing. Ehrenberger und auch die Versuchsanstalt Zürich hatten nämlich ihre Messeinrichtung am Modell derart getroffen, dass der Fangkorb mit Hilfe einer Stange abgesenkt und am Boden festgehalten werden konnte, während bei Dr. Ing. Mühlhofer und bei den Messungen der Rheinbauleitung Bregenz das Fanggerät durch ein freibewegliches Fährseil gegen Abtrieb gesichert wurde. Die Rheinbauleitung Bregenz beabsichtigte daher im Jahre 1936 zur Untersuchung des Einflusses der Aufhängung, trotz der ausserordentlichen Schwierigkeiten, die ein derartiger Messvorgang bot, das Fanggerät ebenfalls mittels einer Stange zu betätigen. Ende Januar 1936 wurden auf Grund einer Aussprache in der Versuchsanstalt Zürich auch die Versuchsmessungen auf den Einfluss der Aufhängung des Fanggerätes ausgedehnt.

Schon im März 1936 konnte am Modell gezeigt werden, dass bei der in Brugg in Verwendung stehenden Aufhängungsart infolge des Ausschlag des schlaffen Fährseiles, hervorgerufen durch den Stoss des Wassers beim Eintauchen des Gerätes, durch dieses beim Auftreffen auf der Sohle Schürfungen erfolgen. Infolge des raschen Absinkens des Fangkorbes im Wasser geht nämlich der durch den Wasseranprall auf das Gerät verursachte horizontale Ausschlag des schlaffen Fährseiles beim Absenken nicht vollständig zurück, sondern gleicht sich erst aus, wenn das Gerät bereits am Boden aufsitzt. Bei der dadurch entstehenden Aufwärtsbewegung des Fanggerätes wird die Sohle abgeschürft. Das abgeschürfte Material gelangt zusammen mit dem im Gange befindlichen Geschiebe in den Korb und beeinflusst so das Fangergebnis je nach der Fangdauer und dem Widerstand der Sohle mehr oder weniger stark.

Auf Grund dieser Feststellungen wurde zu Beginn der Messzeit 1936 an der Messeinrichtung in Brugg eine Aenderung vorgenommen, wodurch diese Schürfbewegungen des Korbes nunmehr zuverlässig verhindert werden. Nach Prüfung verschiedener Lösungen wurde der Verspannung des Fährseiles an der Brücke in Verbindung mit einer Gewichtserhöhung des vorderen Rahmens des Fangkorbes der Vorzug gegeben. Die Kontrolle über das Mass der Verspannung ist durch Anvisieren der Laufkatze zu führen. Vor jeder Messung wird nun das Fährseil soweit aus der Ruhelage gezogen und festgehalten, verspannt, bis die Laufkatze beim Absenken des Korbes ins Wasser keinerlei Horizontalbewegung mehr ausführt. Kontrollmessungen mit verspanntem Fährseil ergaben nun ebenfalls die Unabhängigkeit des Fangergebnisses von der Fangdauer. Zur Ueberprüfung der Richtigkeit dieser Feststellung wurden im Laufe des Jahres 1936 auch in Brugg Kontrollmessungen unter Betätigung des Korbes an einer Stange vorgenommen. Sie zeigten das gleiche Ergebnis. Nunmehr zeigt auch die Auftragung der bei verspanntem Fährseil aufgefangenen Geschiebemengen in Beziehung zur Wasserführung in Brugg nurmehr Streuungen, deren Ausmass im Wesen durch den Messvorgang und den Geschiebetrieb als solchen bedingt ist.

Da die Versuchsanstalt in Zürich, mit der die Rheinbauleitung Bregenz ständig in Fühlung stand, auf Grund der heutigen Messmethode die Uebereinstimmung der Erhebungen in der Natur und in der Versuchsanstalt als gegeben ansieht und den mittleren Wirkungsgrad des Gerätes endgültig mit 45 % bestimmt hat, ist es nunmehr möglich, die Ergebnisse der im Jahre 1936 durchgeführten Messungen in Brugg vollständig auszuwerten. Im Nachfolgenden soll nun über die Messeinrichtungen und die Art der Durchführung aller Messungen berichtet werden, wobei die Messergebnisse aus den Jahren 1934 und 1935 nur soweit erörtert oder zum Vergleich herangezogen werden, als sie unabhängig von der Art der Aufhängung sind.

¹⁾ Ministerialrat Ing. R. Ehrenberger «Direkte Geschiebemessungen an der Donau bei Wien und deren bisherige Ergebnisse» in: Die Wasserwirtschaft, Wien 1931, Heft 34 und «Geschiebemessungen an Flüssen mittels Auffanggeräten und Modellversuche mit letzteren» in: Die Wasserwirtschaft, Wien 1932, Hefte 33 und 36.

²⁾ Ing. Dr. L. Mühlhofer «Untersuchungen über die Schwebstoff- und Geschiebeführung des Inn nächst Kirchbichl (Tirol)» in: Die Wasserwirtschaft, Wien 1933, Hefte 1 bis 6.

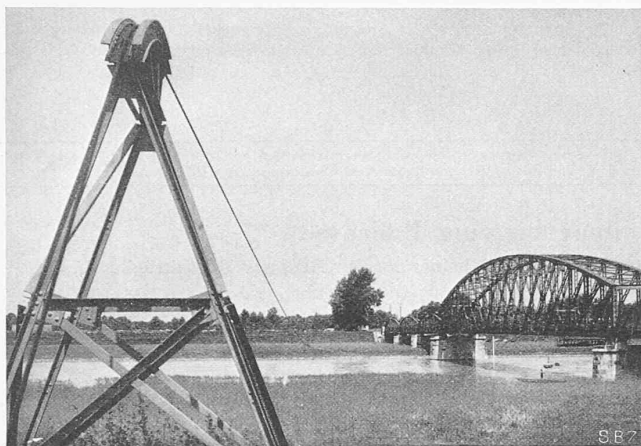


Abb. 34. Entnahmestelle bei der Strassenbrücke Brugg, am Einlauf des Rheins in den Fussacher Durchstich, gegen das linke Ufer.

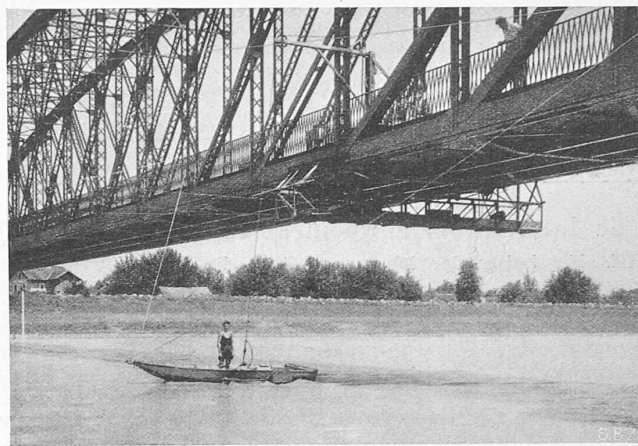


Abb. 35

Im Jahre 1936 wurden 4 Querprofilaufnahmen, 2 Wassermessungen, 28 Geschiebevollmessungen mit gespanntem und 3 Geschiebemessungen mit schlaffem Seil, 2 Geschiebevollmessungen unter Verwendung einer Stange, 11 Kontrollmessungen, davon je eine mit schlaffem Seil und mit Stange und eine Schlammvollmessung durchgeführt. Die tägliche Entnahme der Schlammproben in der Messlotrechten V erfolgte das ganze Jahr hindurch.

Beschreibung der Messtelle (Abb. 34 bis 36). Der für die Messungen benützte Querschnitt in Rheinkilometer 85,38, im Folgenden kurz als «Messprofil Brugg» bezeichnet, liegt unmittelbar flussaufwärts der Bundesstrassenbrücke bei Brugg und rund 550 m unterhalb der Eisenbahnbrücke Lustenau-St. Margrethen, an der durch einen Schreibpegel der Wasserstandsverlauf des Rheines aufgezeichnet wird (vergl. Abb. 1, Bd. 109, Seite 187). Für die Wahl dieses am oberen Ende des Fussacher Rheindurchstiches gelegenen Messquerschnittes war ausschlaggebend, dass die Gerinnesohle an dieser Stelle schon jahrelang wenig Veränderungen zeigte und dass bei dem zur Messzeit verhältnismässig geringen Verkehr die Fahrbahn der Brugger Brücke zur Aufstellung der Messgeräte ausreichend Platz bot. Am linken Flusspfeiler dieser Brücke ist flussabwärts ein Latenpegel befestigt, der während der Messungen ständig abgelesen wurde. Mit Hilfe der Bezugslinie kann aus den Aufzeichnungen des Schreibpegels auch der zugehörige Wasserstandsverlauf für den Brugger Pegel abgeleitet werden. In Bezug auf die Lage der Messtelle ist zu erwähnen, daß der Rheinlauf oberhalb derselben in einer Geraden liegt, während unterhalb eine Linkskurve von 1900 m Radius anschliesst.

Arbeitsplan. Die Beobachtungen an der Messtelle Brugg wurden nach folgenden Richtlinien durchgeführt:

1. Festlegung der Sohlenveränderungen im Bereich des Messprofils und in Querschnitten in Abständen von je 100 m und 200 m ober- und unterhalb der Messtelle, möglichst in Zeitabständen von je 3 bis 4 Wochen, bzw. jeweils nach Ablauf größerer Anschwellungen.
2. Festlegung des jeweiligen Wasserspiegelgefälles an der Messtelle.
3. Messung der Wassergeschwindigkeit bei verschiedenen Pegelständen unter gleichzeitiger Feststellung der Sohlenlage in den Messpunkten durch Peilung.
4. Messung des bei verschiedenen Pegelständen herrschenden Geschiebetriebes mittels eines Fangkorbes nach Ministerialrat Ing. Ehrenberger-Dr. Ing. Mühlhofer, Abwägung der bei jeder Messung in jeder Messvertikalen anfallenden Geschiebemenge, Feststellung des Geschiebegemisches für die Gesamtentnahme in jeder Messvertikalen und bei besonders auffälligen Einzelergebnissen in einer Vertikalen, auch der Kornzusammensetzung des aufgefangenen Materials jeder Einzelmessung. Abwägung und Sortierung fanden in nassem Zustand des Materials statt.
5. Messung des Schlammgehaltes des Wassers bei verschiedenen Pegelständen mit Hilfe eines Auffanggefässes eigener Konstruktion.

Messgeräte. Für die Wassermessungen stand ein Torpedohochwasserflügel des Hydrographischen Zentralbüros in Wien in Verwendung. Der Apparat für die Geschiebemessungen (Abb. 37) wurde von der Versuchsanstalt für Wasserbau im

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft in Wien bezogen, im Laufe der Messungen jedoch den hierbei gewonnenen Erfahrungen angepasst. Das Gerät besteht aus eisernen Rahmen, in die der Auffangkorb eingesetzt wird. Dieser hat eine lichte Breite von 50 cm, eine Höhe von 25 cm und eine Länge von 1 m. Die Länge wurde mit Rücksicht auf guten Durchfluss und zur Einschränkung des Staukegels infolge der Füllung des Gerätes möglichst gross gewählt. Die Umfassungswände des Einsatzkorbes mit Ausnahme des Bodens sind Drahtgitter mit einer lichten Maschenweite von $4\frac{1}{2}$ mm. Nach den im Betriebe gewonnenen Erfahrungen wurde die untere Begrenzung der Einlauföffnung als scharf zugeschlifene Schneide ausgebildet. Damit auch der Boden des Gerätes sich der Sohle gut anschmiegen kann, wurde er aus einem engmaschigen, schlaffen, eisernen Ringkettengeflecht hergestellt, zu dessen Unterstützung Ketten dienen. Als Ersatz für das bei anderen Apparaten angewendete Tiefensteuer, bei dessen Verwendung starke Störungen des Wasserabflusses zu befürchten waren, wurden auf beide Seiten des vorderen Rahmens Bleiplatten aufgeschraubt. Im Laufe der Messungen zeigte sich, dass bei höheren Wasserständen zum ruhigen Festhalten des Gerätes auf der Flusssohle eine größere Auflast erforderlich ist. Bei den Messungen bis Pegel Brugg etwa + 7 m wurden 27,5 kg und über diesem Stande 55 kg schwere Zusatzgewichte in Form von eisernen Laschen vorn oben am Korb aufgelegt. Ausserdem waren am Fanggerät zwei Körbchen angebracht, die dazu dienen sollten, festzustellen, ob etwa oberhalb der Einfangöffnung noch Geschiebegang stattfindet. Da bei den Messungen nur in ganz wenigen Einzelfällen einzelne Geschiebekörner vorgefunden wurden, sind die Körbchen entfernt worden. Das Aufleuchten zweier verschiedenfarbiger, am Messwagen montierter elektrischer Glühbirnen, die mit am vorderen Rahmen des Korbes links und rechts unten angebrachten Bodentastern leitend verbunden sind, zeigt an, dass der vordere Rahmen und damit das Fanggerät auf der Flusssohle satt aufliegt. Das Gewicht des leeren Fangkorbes ohne die Eisenlaschen beträgt 75 kg.

Das Entnahmeggerät für die Schlammmessungen (Abb. 38) wurde unter Anlehnung an bereits bekannte und erprobte Ausführungen nach eigenen Angaben angefertigt. In ein allseits geschlossenes Blechgefäss von kahnähnlichem Querschnitt führt vorn oben ein Messingröhrchen von 4 mm Durchmesser. Dieses Gefäss, das mit einem Seitensteuer ausgestattet ist, dient zur

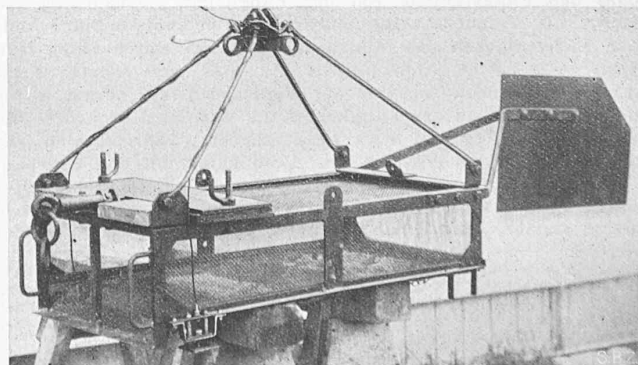


Abb. 37. Ansicht des Geschiebefängers

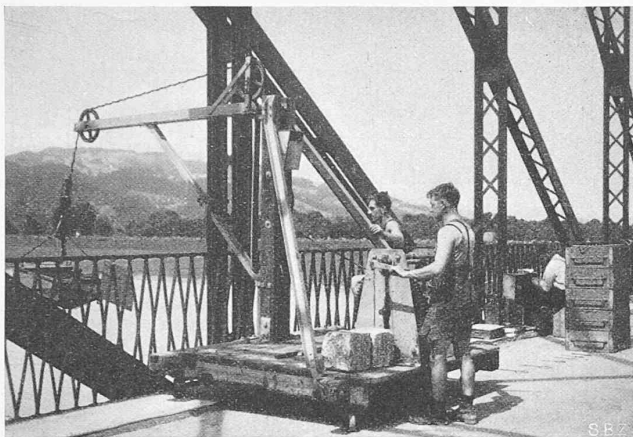


Abb. 36. Hubkran auf der Brugger Strassenbrücke

Aufnahme eines Gummiballons von etwa 1 l Inhalt; der am Gummisack zu seiner Füllung vorgesehene Schlauch kann auf das Messingröhrchen aufgeschoben und durch Betätigung eines Hebels zusammengepresst werden. Mittels eines dünnen Drahtseiles kann dieses Schöpfgerät von der Brücke aus an beliebiger Stelle mit geschlossenem Gummisack abgesenkt und, da sein Boden mit Blei beschwert ist, auch in jeder beliebigen Tiefe bei straffem Seile festgehalten werden. Durch Lösen des Hebels wird der Einlauf für das mit Schlamm gesättigte Wasser in den Sack freigegeben. Nach Füllung wird durch Betätigung des Hebels der Wasserzuström unterbunden, sodass das Gefäß, ohne dass sein Inhalt durch Wasser aus anderen Schichten vermischt wird, hochgezogen werden kann.

Einrichtung der Messstelle. Um die verschiedenen Messapparate an beliebiger Stelle des Flussquerschnittes in Betrieb nehmen zu können, wurde rd. 40 m oberhalb der Brugger Rheinbrücke ein Drahtseil, Durchmesser 22 mm, über den Fluss gespannt. Das Seil, dessen Spannweite rd. 270 m beträgt, liegt auf zwei eisernen Stützen, die auf den Hochwasserdämmen stehen und diese um 4 m überragen. Linksufrig steht ausserhalb des Hochwasserdammes eine Seilwinde zur Anpassung der Höhenlage des Seiles an die jeweiligen Wasserstände; rechtsufrig ist es an einem Betonblock verankert. Dieses Drahtseil dient als Fährseil für eine Laufkatze, über die ein Zugseil geführt wird. Das Zugseil sichert die abzusenkenden Geräte gegen Abtrieb und wird vom Revisionswagen der Brücke aus bedient. Das Absenken und Heben der Geräte erfolgt über den drehbaren Ausleger des Messwagens. Der Messwagen selbst (Abb. 39) ist ein niedrig gebauter Plattwagen mit einer Handkabelwinde und dem vorerwähnten drehbaren Ausleger, der durch die Öffnung der Eisenkonstruktion der Brücke ausgeschwenkt werden kann. Die Seile zur Verspannung des Fährseiles sind ebenfalls an der Laufkatze befestigt und führen über einen Flaschenzug, der am Brückentragwerk verhängt wird.

Das Messprofil ist durch 7 Lotrechte unterteilt. Ihr Abstand voneinander beträgt 10,5 m bis 11 m. Je nach Bedarf werden Zwischenlotrechte eingeschaltet und bei ausserordentlichen Hochständen auch die Vorländer durch Hilfslotrechte in den Messbereich einbezogen.

Messvorgang. Ursprünglich vollzog sich der Messvorgang derart, dass in jeder Lotrechten mittels einer Peilstange zu-

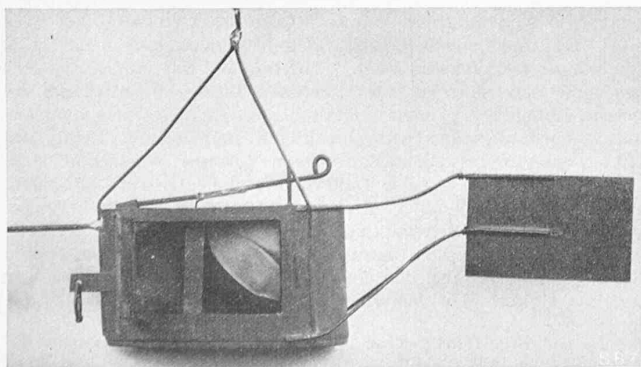


Abb. 38. Ansicht des Schlammfängers

Messungen über die Geschiebe- und Schlammführung des Rheines an der Brugger Rheinbrücke

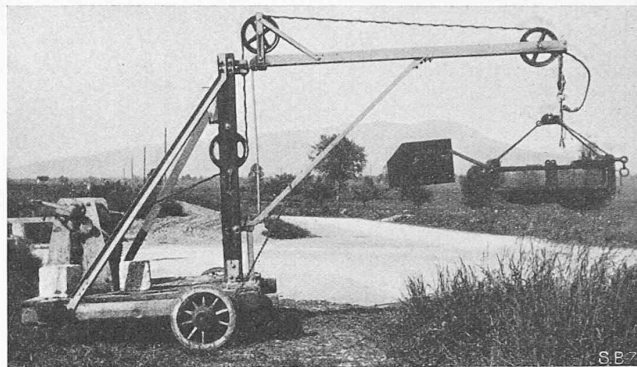


Abb. 39. Messwagen mit drehbarem Ausleger

nächst die Sohlenlage festgehalten wurde, dann folgte eine Geschwindigkeitsmessung und anschliessend die Geschiebe- und Schlammmessung. Ein solcher Messvorgang nahm für den ganzen Flussquerschnitt etwa 14 Stunden in Anspruch, sodass sich schon nach den ersten Messungen die Notwendigkeit einer Trennung der einzelnen Messungen herausstellte. Während eines Messtages finden, besonders bei höheren Ständen, immerhin bedeutende Aenderungen des Pegelstandes statt. Diese Aenderungen hatten vor allem auf die Schlammführung grossen Einfluss. Aber nicht allein die Aenderungen des Pegelstandes beeinflussten die Schlammführung, sondern bei länger andauernden Hochwasserständen veränderte sich der Schlammgehalt auch bei gleichbleibendem Wasserstand sehr stark. Wenn also die Messergebnisse über die Schlammführung in den einzelnen Messlotrechten zueinander in Beziehung gebracht werden sollten, musste die Schlammmessung auf einen möglichst kurzen Zeitraum zusammengedrängt werden. Daher wurden zunächst die Schlammessungen von den übrigen Erhebungen getrennt, mit ihnen aber Geschwindigkeitsmessungen verbunden, um die Schlammfracht für den Querschnitt möglichst genau berechnen zu können. Bei der Auswertung zeigte sich, dass die Schlammführung im Querschnitt auch aus dem arithmetischen Mittel aller Messungen genügend genau zu ermitteln ist. Wie durch Kontrollrechnung bei vier Schlammessungen festgestellt werden konnte, weicht nämlich das Ergebnis der genauen Berechnung der Schlammführung von der aus dem arithmetischen Mittel aller Einzelmessungen abgeleiteten mittleren Schlammführung nur um 5,5 % ab. Aus diesem Grunde konnte im Zusammenhang mit der Schlammmessung eine Geschwindigkeitsmessung ausfallen. Eine weitere kritische Ueberprüfung der Ergebnisse der Schlammessungen ergab, dass es auch ohne besondere Beeinträchtigung des Gesamtergebnisses zulässig ist, sich bei Feststellung der mittleren Schlammführung auf eine einzige Stelle im Querschnitt zu beschränken, dort aber möglichst zahlreiche Schöpfproben zu entnehmen.

Aus den ersten Geschiebemessungen war zu erkennen, daß auch der Geschiebegang starken Schwankungen unterliegt und daß, je kürzer die Fangdauer für jede Einzelmessung ist, um so ungenauer das Ergebnis der Gesamtmessung wird. Das gleiche ergab sich, falls die Anzahl der Messungen in einer Vertikalen nicht genügend gross war. So kam es, dass schliesslich auch bei den Geschiebemessungen aus Gründen der Zeitersparnis die gleichzeitige Messung der Wassergeschwindigkeit weggelassen werden musste. Die Geschiebemessungen beschränkten sich dann nurmehr auf die Peilung des Sohlenpunktes vor Beginn der eigentlichen Messung und auf 10 bis 30 Einzelmessungen in jeder Lotrechten, gegenüber ursprünglich 3 bis 4. Die Fangdauer für eine Einzelmessung betrug bei höheren Wasserständen 60 sec., bei niedrigeren 120 sec.; die kürzere Messzeit war bei stärkerem Geschiebegang zweckmässig, um eine Ueberfüllung des Korbes zu vermeiden. Mit Rücksicht auf die Ergebnisse der Kontrollmessungen ist der Schluss auf die Zeiteinheit zulässig, daher die verschiedene Messzeit ohne einschneidende Bedeutung.

Sohlenaufnahme. Zur Kontrolle des Sohlenverlaufes im Messquerschnitt und des Sohlenverlaufes in den anschliessenden Flussstrecken wurde die Sohle des Messprofiles und je zweier Querschnitte in Abständen von je 100 m oberhalb und unterhalb des Messprofiles aufgenommen. Diese Aufnahmen

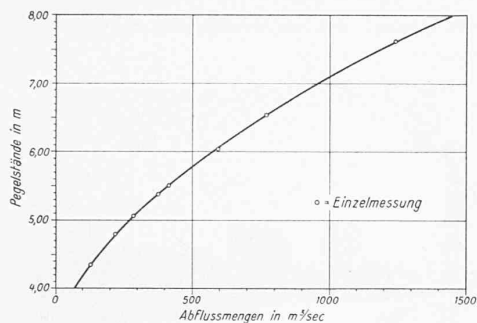


Abb. 40. Abflussmengenkurve bei Brugg 1936

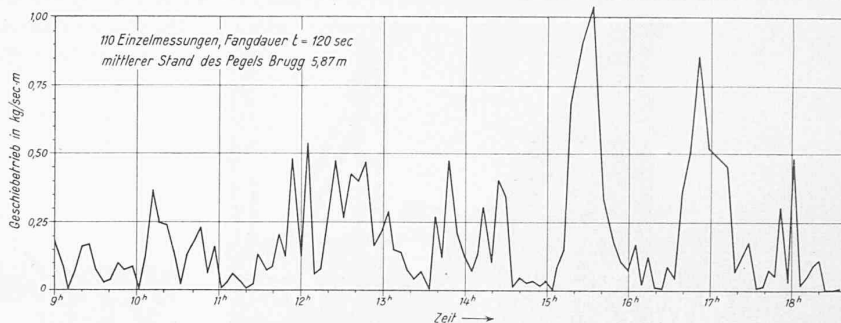


Abb. 41. Stärkeschwankungen des Geschiebetriebes, Dauermessung 31. August 1934

(Peilungen) wurden durchschnittlich in Zeitabständen von etwa 3 bis 4 Wochen wiederholt.

Trotzdem das Messprofil, Rheinkilometer 85,38, am Anfang eines Linksbogens von $R = 1900$ m liegt, betragen die Höhenunterschiede der Sohle, wie durch wiederholte Messungen des Querschnittes festgestellt werden konnte, mit Ausnahme der geringen Kolke unmittelbar an den Vorgründen, höchstens etwa 30 cm, wobei die tiefsten Stellen muldenartig in der Mitte liegen. Die Breite der beweglichen Sohle beträgt 74 m. Die beiden flussaufwärts liegenden Querprofile in Km. 85,2 und Km. 85,3 sind Kolkprofile; der Kolk liegt am linken Ufer. Die flussabwärts gelegenen Querschnitte in Km. 85,5 und Km. 85,6 sind zwar ebenfalls Kolkprofile, ihr Kolk liegt jedoch rechtsufrig. Zur Kontrolle des jeweiligen Sohlenverlaufes wurde für jede Querprofilaufnahme die mittlere Höhe der beweglichen Sohle bestimmt, und mit diesen Mittelwerten für jeden Querschnitt eine Ganglinie der Sohlenhöhe aufgezeichnet. Während des Jahres 1936 hob sich die Sohle des Messquerschnittes um rund 10 cm, die der übrigen Querschnitte blieb nahezu unverändert. — Bei Niederwasser erscheint 75 m oberhalb der Brugger Brücke auf dem rechten Ufer der Rücken einer Kiesbank, während 50 m unterhalb der Messstelle auf dem linken Ufer alljährlich eine mächtige Kiesbank auftaucht; der tiefste Talweg kreuzt die Messstelle, diese liegt also in einem Furtprofil.

Gefällsbeobachtungen. Zur Festlegung des Wasserspiegelgefälles während der Messungen diente neben den Ablesungen am Schreibepegel bei der Eisenbahnbrücke Lustenau - St. Margrethen und am Lattenpegel an der Brugger Rheinbrücke je ein Hilfspegel 200 m flussauf- und 100 m flussabwärts der Messstelle. Diese Hilfspegel wurden auf den Böschungen der Mittlerinne aufgestellt und ihre Teilung auf einen gemeinsamen Horizont bezogen. Auf diese Weise konnte aus dem Unterschied der Pegelablesungen das Gefälle direkt abgelesen werden. Da die Hilfspegel bei höheren Wasserständen unbrauchbar wurden, wurde in diesem Falle während der Messungen der Wasserspiegel am linken und am rechten Ufer an den Stationierungspunkten Km. 85,2 und Km. 85,5 mehrmals des Tages verpflockt und einnivelliert.

Da der Wasserspiegel infolge des Wellenschlages und der Pulsation äusserst unruhig ist und ausserdem durch die Hilfspegel ein kleiner örtlicher Stau entsteht, der unter Umständen durch hängenbleibendes Geschwemmelsel noch vermehrt wird, ist diese Art der Gefällsbeobachtung nicht sehr genau. Das gleiche gilt für die Gefällsermittlung aus den verpflockten Punkten, da das Gefälle im Stromstrich und am Ufer naturgemäss verschieden ist. Das Gefälle dürfte auch infolge der Art und Weise des Geschiebetriebes kleineren Schwankungen unterworfen sein. Es ändert sich mit den Wasserständen und ist an beiden Ufern verschieden gross. Im Mittel darf es für den Messbereich etwa zu 0,85 ‰ bei grossen, bis 0,90 ‰ bei kleinen Wasserständen angenommen werden. — Das Sohlengefälle ergibt sich aus den Querschnittsaufnahmen.

Wassermessungen. Die Messung der Wassergeschwindigkeiten erfolgte in üblicher Weise zur möglichst genauen Feststellung der Wassermengenlinie für alle Wasserstandshöhen in Abständen von je 50 cm. Abbildung 40 zeigt die Schlüsselkurve für die Gesamtwasserführung.

Geschiebemessungen. Der Geschiebetrieb im Rhein dauert nach früheren Erhebungen nicht das ganze Jahr hindurch an, sondern setzt erst bei einer Wassertiefe von 1,80 m ein. Für seine Beobachtung kommen bei der derzeitigen Sohlenlage daher nur Wasserstände von mehr als 4,70 m am Pegel Brugg ($Q = 200$ m³/sec) in Frage; diese treten an etwa 150 Tagen des Jahres auf. Um eine Beziehung zwischen den Pegelständen oder der Wasserführung und dem zugehörigen Geschiebetrieb ableiten zu können, wurden die Messungen derart über das Jahr verteilt,

dass möglichst alle Pegelstände in Abständen von etwa 10 cm zu 10 cm untersucht werden konnten. Dabei wurde zur Kontrolle der Ergebnisse bei verschiedenen Pegelständen wiederholt gemessen.

Die Durchführung der Messungen erfolgte ursprünglich nach dem von Dr. Ing. Mühlhofer entwickelten Verfahren und wurde nach und nach den eigenen Erfahrungen angepasst. Die Geschiebemessungen waren entweder *Vollmessungen*, d. h. sie erstreckten sich auf alle Vertikalen, oder *Dauermessungen*, d. h. es wurden in einer einzigen Lotrechten möglichst viele Messungen mit gleicher Fangdauer durchgeführt. Bei den Kontrollmessungen schliesslich wurde zwar ebenfalls nur in einer einzigen Lotrechten gemessen, doch betrug bei diesen Messungen die Fangdauer abwechselnd 5, 10, 20, 40 und 60 sec. Sie wurde später sogar auf 120 bis 240 sec ausgedehnt. Das aufgefangene Geschiebe wurde gewogen und gesiebt und überdies Gewicht und Ausmasse des grössten und kleinsten Kornes bestimmt. Steine über 50 mm wurden mit Hilfe quadratischer Lehren gemessen; die Sortierung des Gemisches erfolgte mit Hilfe eines Schaffernak'schen Grobsiebsatzes³⁾.

Schlammessungen. Die Schlammessungen wurden entweder als *Vollmessungen* durchgeführt, wobei die Entnahme der Schlammproben in allen Messlotrechten erfolgte, oder es wurde nur in der Lotrechten V gemessen; die Schlammproben wurden möglichst nahe der Wasseroberfläche, in der Mitte der Wassertiefe und am Flussgrunde entnommen. Die Messungen in der Lotrechten V erfolgten ab 30. März 1935 täglich einmal, im Jahre 1936 zweimal und bei starker Schlammführung mehrmals des Tages. Das schwebstoffhaltige Wasser wurde auf der Messstelle in Gläser abgefüllt und später auf seinen Schlammgehalt untersucht.

ERGEBNISSE DER BEOBACHTUNGEN

Wie schon eingangs erwähnt, sind die Messungen aus den Jahren 1934 und 1935, soweit sie die Geschiebeführung betreffen, nur als Entwicklung des Messverfahrens zu werten, obwohl auch sie bereits einen guten Einblick in die Vorgänge beim Geschiebetrieb geben.

Zeitlicher Verlauf. Im Jahre 1936 konnte wegen der vielen, zur endgültigen Festlegung der Messmethode notwendigen Kontrollmessungen eine eigentliche Dauermessung mit verspannter Seile nicht durchgeführt werden; Abbildung 41 stellt die Dauermessung vom 31. VIII. 1934 in der Messlotrechten V, mit der Fangdauer von 120 sec für eine Einzelmessung und ohne Verspannung des Fährseiles dar. Da aber jede Vollmessung in den mittleren Lotrechten mindestens 30 Einzelmessungen umfasst, ist auch aus den Vollmessungen der zeitliche Verlauf des Geschiebetriebes eingermassen zu erkennen. Die Auftragung der Gewichte der aufgefangenen Geschiebemengen in Abhängigkeit vom Zeitablauf zeigt ein sehr bewegtes Bild. Es sind jedoch gewisse Eigentümlichkeiten dieser Unregelmässigkeit festzustellen. Vor allem fällt auf, dass der Geschiebetrieb während einer gewissen Zeitspanne etwa um die gleiche Höhenlage pendelt, plötzlich auf ein höheres Niveau ansteigt, dort ungefähr während gleich langer Zeit bleibt, um dann wieder zurückzufallen. Dieser Vorgang wiederholt sich, sein Charakter ist aus der Dauermessung deutlich zu erkennen. Ausser diesen Wellen von etwa zweistündiger Schwingungsweite zeigen sich Schwankungen des Geschiebeganges in Zeitabständen von wenigen Minuten. Manchmal tritt sogar eine völlige Unterbrechung des Geschiebeganges ein. Eine absolute Regelmässigkeit der Schwankungen kann nicht festgestellt

³⁾ Dr. F. Schaffernak «Neue Grundlagen für die Berechnung der Geschiebeführung in Flussläufen» erschienen 1922 bei Frz. Deuticke, Wien, Verlagsnummer 2767. Vergl. hiezu auch Ehrenberger «Zur Frage der Kennzeichnung von Flussgeschieben» in der Wasserwirtschaft, Wien 1931, H. 17/18.

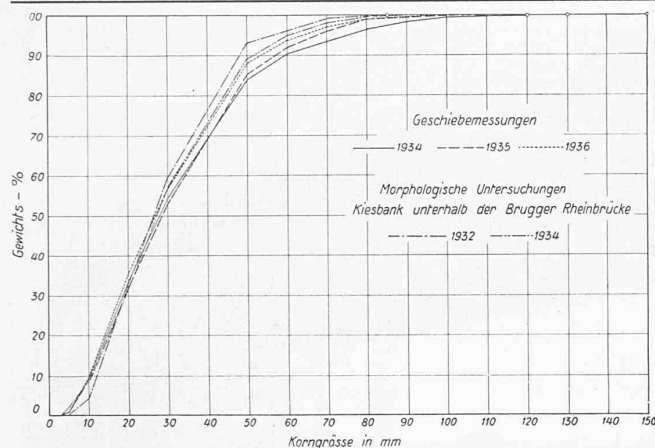


Abb. 42. Mischungslinie, Kies-Analyse

werden. Es ist jedoch erkennbar, dass die geschilderten Vorgänge um so ausgeprägter werden, je grösser der Wasserabfluss ist. Bei andauernden Wasserständen sind die Schwankungen im Geschiebeganze in den Lotrechten mit grösster Geschiebeführung am deutlichsten festzustellen. Im Anschluss an bekanntgewordene Untersuchungen in dieser Richtung ist anzunehmen, dass die kleinen Schwankungen von lokalen Einflüssen, die grossen von dem Verhalten des Flussbettes oberhalb der Messtelle abhängig sind. Sie wären aus einer Art Speicherwirkung der Kiesbänke zu erklären.

Aus den Messungsergebnissen kann auch geschlossen werden, dass die Höhe der Geschiebewelle kaum grösser als etwa 25 cm sein kann, aber, als Ganzes genommen, sich sehr langsam bewegen muss, da, wie schon erwähnt, in den ursprünglich über der Einlauföffnung in den Fangkorb angebrachten beiden kleinen Körben nur in wenigen Einzelfällen Geschiebekörner vorgefunden wurden. Die Breite der Wellen konnte bisher nicht erhoben werden; zu ihrer Feststellung wären an den verschiedenen Messlotrechten oder wenigstens an einzelnen derselben gleichzeitig Geschiebemessungen erforderlich.

Um einen möglichst guten Mittelwert für jede Messlotrechte, vor allem aber für die einflussreichsten zu erhalten, wurde die Anzahl der Messungen so gewählt, dass der wellenförmige Ablauf durch die Messungen erfasst wird, d. h. es wurden in den einzelnen Lotrechten so viele Einzelmessungen durchgeführt, dass ein Maximum und ein Minimum des Geschiebetriebes (eine Welle) in die Messreihe fielen. Für die Messtelle Brugg ergab sich, dass für die Lotrechten mit grösstem Geschiebetrieb mindestens etwa 30 Messungen wünschenswert sind. Für die Lotrechten mit kleinstem Geschiebetrieb sind immerhin noch etwa 10 bis 15 Messungen notwendig, um einen brauchbaren Mittelwert zu erhalten. Die Zahl der Messungen für die Zwischenlotrechten ergibt sich durch Interpolation. Da das Maximum des Geschiebetriebes nicht an allen Messtagen in der gleichen Lotrechten liegt, war die Verteilung der Anzahl der Einzelmessungen — sie beträgt etwa 140 bis 160 — den jeweiligen Verhältnissen anzupassen, um die während eines Tages zur Verfügung stehende Messzeit nicht zu überschreiten. Die Frage, ob bei ansteigendem oder absteigendem Ast einer Hochwasserwelle ein wesentlicher Unterschied besteht, konnte noch nicht einwandfrei geklärt werden. Der Anstieg einer Welle fällt nämlich an der Messtelle Brugg fast immer in die Nachtstunden, sodass unsere Messungen meist durchwegs im absteigenden Aste vorgenommen werden mussten.

Verteilung über den Querschnitt. Die Verteilung des Geschiebetriebes über den Messquerschnitt ist unregelmässig und steht im Zusammenhang mit dem Wasserabfluss.

Die kleineren und mittleren Wasserstände drängen sich auf einen Teil des Flussbettes, den Talweg, zusammen. Es bilden sich Kiesbänke. Der Abfluss erfolgt in gewundenem Tallauf. Auch der Geschiebetrieb vollzieht sich im Talweg. Bei höherer Wasserführung hat der Fluss, der nun sein Bett in voller Breite in Anspruch nimmt, die Tendenz, die Unregelmässigkeit der Sohlenkonfiguration auszugleichen. Bei diesen Bettumbildungen handelt es sich nur um Aenderungen in der Profilform; die mittlere Sohlenhöhe der Querschnitte bleibt im allgemeinen unverändert. Es erfolgt eine Umlagerung der Kiesbänke unter Aufrechterhaltung des Sättigungsgrades des Wassers derart, dass in den Kolken etwa die gleiche Menge Material verbettet wird, die aus den Ablagerungen auf den Kiesbänken zum Abtrieb kommt. Aus den verschiedenen Sohlenaufnahmen der Quer-

schnitte des Messbereiches ist dieser Sohlenausgleich gut zu erkennen.

Da nun unmittelbar oberhalb des Messquerschnittes rechts eine Kiesbank liegt, ist bei höherer Wasserführung der Geschiebetrieb im Bereich des rechten Ufers grösser als linksufrig; er wird das Maximum des Geschiebetriebes enthalten, wenn die Umlagerung der Kiesbank in vollem Zuge ist. Aus dieser Abhängigkeit des Geschiebetriebes von der Sohlengestaltung ergibt sich, dass keine gesetzmässige Beziehung zwischen dem in den einzelnen Punkten des Querschnittes gemessenen Geschiebetrieb und den dort pro Meter und Sekunde zum Abfluss gelangenden Wassermengen allein herrscht. Eine solche Beziehung lässt sich dagegen aus dem mittleren Geschiebetrieb des Querschnittes und der dazugehörigen Wasserführung ableiten.

Nahezu bei allen Wasserständen nimmt der geschiebeführende Streifen die volle Breite von 74 m zwischen den Vorgrund-Innenkanten ein; eine Ausnahme bilden nur die Wasserstände um den Geschiebetriebsbeginn, bei denen in einzelnen Vertikalen kein Geschiebegang festgestellt werden konnte.

Korngrösse der Geschiebe. Die Körnung des aufgefangenen Gemisches gestattet einen weiteren Einblick in den Gang der Geschiebeführung. Um dies zu untersuchen, wurden die Mischungslinien und die Mischungsstufenlinien⁴⁾ für die Fangergebnisse aufgezeichnet. Es zeigt sich nun, dass bei einer Einzelmessung die Körnung bei kleineren Fangergebnissen einer Messreihe gröber ist als bei grösseren Fangergebnissen der nämlichen Messreihe. Während bei den kleineren Geschiebemengen das Korn 0 bis 20 mm fast vollständig fehlt, enthält das grössere Fangergebnis alle Korngrössen, wobei der Anteil der Körner bis 20 mm nahezu 50 % beträgt. Es kann also auch aus der Körnung des Materiales auf den Gang der Welle geschlossen werden. Der Beginn und das Ende der Welle zeigen sich durch gröbere, das Maximum durch feinere Körnung an. Das Gewicht des aufgefangenen grössten Kornes betrug 4,95 kg, das grösste Fangergebnis überhaupt 125 kg Gemisch, bei gespanntem Seil und 120 sec Fangzeit. Der grösste auf der Kiesbank unterhalb der Messtelle aufgefundene Stein wog 6,14 kg; das Mittel aus den vier grössten Steinen betrug 4,71 kg. Ein Vergleich des bei den Geschiebemessungen aufgefangenen Gemisches mit dem im Jahre 1934 auf der Kiesbank unterhalb der Messtelle durch Siebung festgestellten Geschiebegemisch — wobei auch hier die Körner unter 3 mm ausgeschaltet wurden — zeigt eine gute Uebereinstimmung (Abb. 42)⁴⁾. Daraus kann geschlossen werden, dass auf den Bänken das Gemisch, also die ganze Welle, zur Ruhe kommt und dass nur das langsame Zurückgehen des Wasserstandes Ursache dafür ist, dass die feineren Teile ausgeschwemmt werden und schliesslich die Kiesbankoberfläche bei ihrem Auftauchen durch gröberes Material abgedeckt erscheint. Als Einheitsgewicht des aufgefangenen Gemisches ergab sich aus vielen Messungen für leicht eingerütteltes Material im Mittel 1700 kg/m³, während die Erhebungen auf den

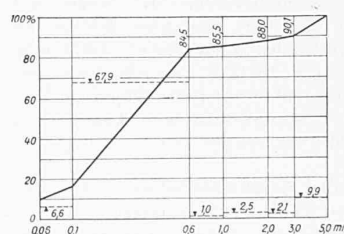


Abb. 43. Feinkornanalyse

Kiesbänken für das Gesamtgemisch, einschliesslich der feineren Teile über 0,6 mm 1800 kg/m³ ergeben hatten. Wie aus Abb. 43 hervorgeht, liegen 84½ % des Feinkornes unter 0,6 mm.

Zur Beurteilung der Kornzusammensetzung in den einzelnen Lotrechten wurden die Mischungs- und Stufenlinien für die Fangergebnisse des ganzen Jahres für jede Messlotrechte aufgezeichnet. Dieses Mischungsband über den Querschnitt zeigt, dass die Körnung des Gemisches linksufrig, also an der Innenseite der Krümmung am gröbsten ist und gegen das rechte Ufer zu feiner wird. Diese Sortierung des Gemisches hat ihre Ursache in der Gestaltung der Sohle. Wie schon erwähnt, liegt oberhalb der Messtelle rechts eine Kiesbank; bei niederen und mittleren Wasserständen vollzieht sich der Geschiebetrieb am Rande dieser Kiesbank. Ueber die Kiesbank selbst aber wird wegen der geringen Wassertiefe nur feineres Material abrollen. Dies ist auch eine Erklärung dafür, dass die Kiesbank 12 gröber sein kann.

Die Mischungs- und Stufenlinien wurden weiter nach Art eines Mischungsbandes den Pegelständen zugeordnet. Aus die-

⁴⁾ In Kapitel II ist in Abb. 23 (Bd. 109, S. 213) das Geschiebemischnungsband nach den morphologischen Erhebungen 1932 dargestellt. Die im Zusammenhang mit der Geschiebemessung im Jahre 1934 durchgeführten morphologischen Untersuchungen ergaben ein Mischungsband für das in Kiesbank 12 die Anomalie in der Körnung nicht mehr feststellbar ist.

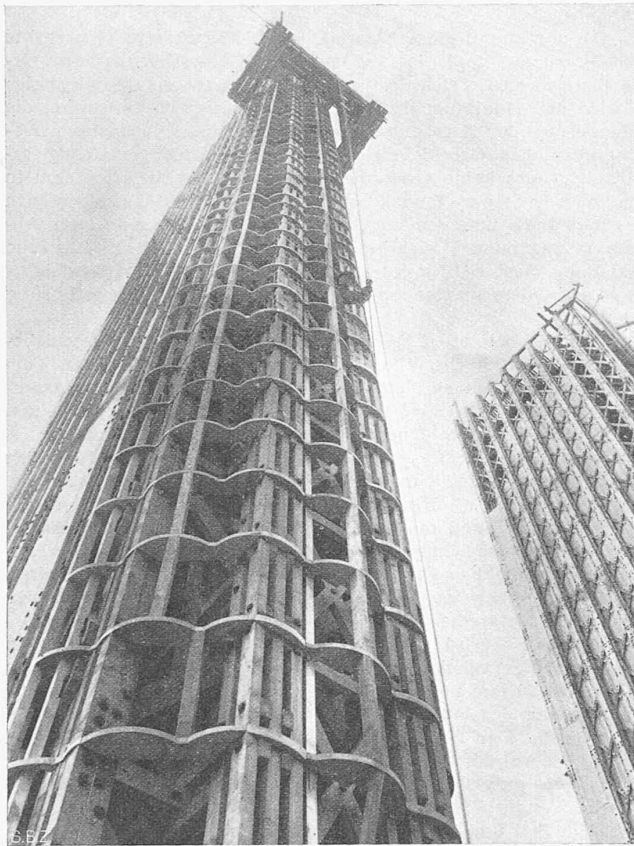


Abb. 7. Innenkonstruktion der 51 m hohen Türme, Grundfläche 3x10 m

ser Darstellung konnte entnommen werden, dass die Kornzusammensetzung bei allen Pegelständen ziemlich gleichartig ist. Das Korngemisch bei Pegelständen in der Nähe des Geschiebetriebbeginnes bis etwa 5,60 m weist einen geringeren Anteil der Körner bis einschliesslich 30 mm auf. Auch diese Erscheinung ist vermutlich auf die Sohlengestaltung zurückzuführen. Es wurde schon früher erwähnt, dass beim Zurückgehen des Wasserstandes die Geschiebewellen als Ganzes auf den Kiesbänken zur Ablagerung kommen, dass aber infolge des langsamen Abfalles des Wasserstandes die feineren Teile ausgeschwemmt werden. Es ist also erklärlich, dass beim Geschiebetriebsbeginn zunächst diese feineren Teile fehlen oder in geringem Umfange auftreten. Erst ein kräftiger Angriff auf die Kiesbank, der auch in tiefere Schichten reicht, bringt das normale Gemisch in Bewegung.

Es ist festzustellen, dass die Geschiebetriebslinie für den Pegel Brugg beim Pegelstände + 5,50 m eine Aenderung im Geschiebetrieb anzeigt (vergl. Abb. 44). Beim Ueberschreiten dieser Wasserführung scheint also die Sohle des Querschnittes in voller Breite in Bewegung zu sein. (Schluss folgt).

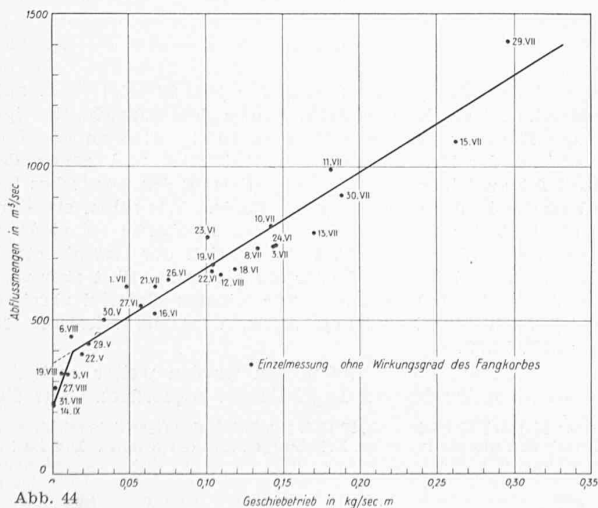


Abb. 44

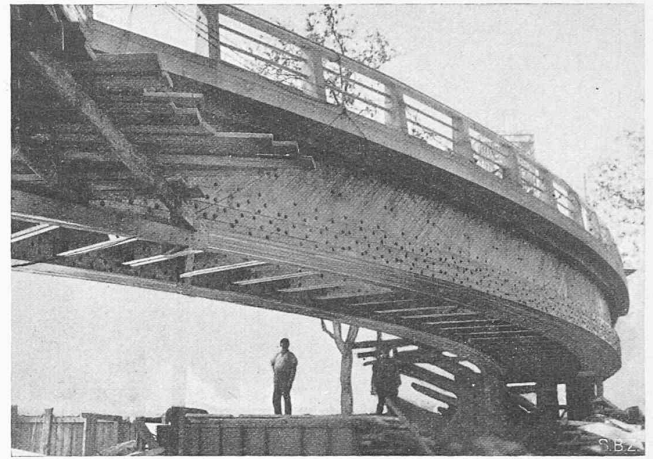


Abb. 1. Kurvenbrücke von 40 m Radius und 35 m Spannweite

Holznagelbau an der Pariser Ausstellung

Einer der Haupteingänge zur Ausstellung befindet sich auf der Place de l'Alma, im Zentrum des dichtgedrängten städtischen Verkehrs. Die zuströmenden Besucher werden schon vor dem Betreten des Ausstellungsgebietes auf den entfernt liegenden Trottoirs dem Verkehr entzogen und auf Ueberführungen dem Eingang zugeleitet. Ein Netz von Passerellen, Brücken, Plattformen und Treppen überspannt kreuz und quer den sternförmigen Platz und zwei hohe Türme dominieren die ganze Anlage. Als Baumaterial wurde ausschliesslich Holz verwendet und zwar meist in Form von Brettern.

Besonders eindrucksvoll sind zwei Kurvenbrücken von 35 m Spannweite und 9 m Breite, die sich kühn ins Leere hinauskürmen (Abb. 1 und 2); die vollwandigen Hauptträger in Nagelbauweise bilden Kreisbögen von 40 m Radius und 40° Zentriwinkel. Zur Sicherung gegen Kippen des Systems besitzen die Querträger einseitige nach innen auskragende Konsolen mit Gegengewichten. Die statische Berechnung ist für ein Menschengedränge von 500 kg/m² durchgeführt; für jeden Hauptträger ergeben sich charakteristische ungünstigste Belastungsflächen.¹⁾ Als zulässige Holzbeanspruchungen wurden angenommen: Druck 90, Zug 110 und Lochleibungsdruck 180 kg/cm². Die Durchbiegungen wurden mit dem Trägheitsmoment des ungeschwächten Querschnittes und mit $E = 100\,000 \text{ kg/cm}^2$ berechnet; die Messungen während des Ablassens der Gerüste und der anschließenden Belastungsproben ergaben die gleichen Resultate wie die Rechnung. Um ein Lockern der Nägel beim Schaffen des Holzes zu verhindern und die gedrückten Bretter gegen Knicken zu sichern, sind die Gurtungen durch Bolzen zusammengehalten.

Die Ueberführungen der Abbildungen 3, 4 und 5 bestehen aus je vier vollwandigen Kastenträgern von 44 m Spannweite und 2 m Höhe, was dem geringen Schlankheitsgrad von 1/22 entspricht. Die verwendeten Bretter haben durchwegs 27 mm

¹⁾ Die statischen Angaben stammen vom Verfasser des Ingenieurprojektes, Prof. Chalos, die Bilder z. T. von Herrn Terriou, Ingenieur der ausführenden Zimmerei A. Moles.

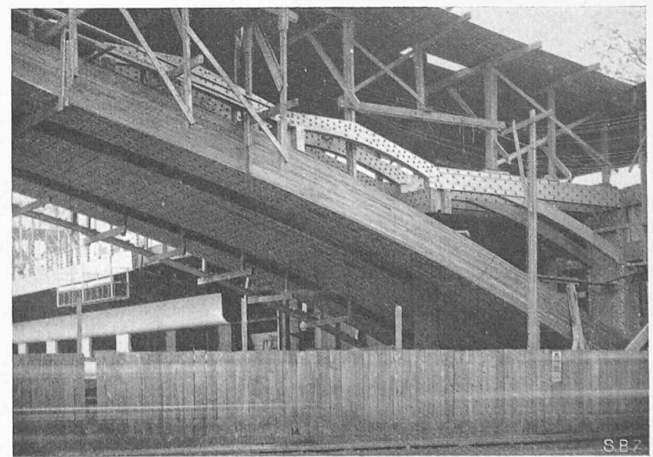


Abb. 6. Gewölbe von 65 m Stützweite, aus vernagelten Brettern