Die Internationale Rheinregulierung vor der Illmündung bis zum Bodensee

Autor(en): **Meyer-Peter, E. / Hoeck, E. / Müller, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **109/110 (1937)**

Heft 18

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-49040

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

wendigen Apparaturen für die Durchführung der grundlegenden Versuche angeschafft. Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang ein Hochfrequenzröhrengenerator für etwa 1,5 kW Anodenleistung, mehrere Verstärker-Einrichtungen, Piezoquarz-Messanordnung u. a. m. Ein Siemens Schleifenoszillograph und ein Braunsches Rohr lassen schnell verlaufende Vorgänge messen und im Bilde festhalten.

Das ziemlich reichlich dotierte Instrumentarium erlaubt neben den für die Studierenden bestimmten Demonstrationen auch Forschungsarbeiten in verschiedenen Gebieten der Elektrotechnik durchzuführen.

Die Internationale Rheinregulierung von der Illmündung bis zum Bodensee

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

(Schluss von S. 202)

B. RECHNERISCHE BEHANDLUNG DER AUFGABE

I. DIE BERECHNUNGSMETHODE

Im Frühjahr 1934 erhielt die Versuchsanstalt für Wasserbau durch die I. R. K. den Auftrag, auf rechnerischem Wege eine Lösung für das Rheinproblem zu studieren. Mit Hilfe des *Geschiebetrieb-Gesetzes* der Versuchsanstalt für Wasserbau konnte zu diesem Zwecke eine Berechnungsmethode entwickelt werden, die in der «SBZ» unter dem Titel «Beitrag zur Berechnung der Geschiebeführung und der Normalprofilbreite von Gebirgsflüssen» bereits mitgeteilt worden ist [6]), und zu deren Ueberprüfung die im vorangegangenen Kapitel in Nr. 17 beschriebenen Modellversuche verwendet werden konnten. Dazu eigneten sich nur Versuche mit «Normalabfluss und Beharrungszustand», also vier Versuche der Serie 1932 mit Geschiebe von 1 ÷ 3 mm und der Kontrollversuch mit «normalem» Geschiebe von 0,5 ÷ 11,6 mm der Serie 1933/34; es sind dies die fünf Versuche, die im genannten Aufsatz vom März 1935 unter III rechnerisch behandelt sind. Diese Methode bildet die Grundlage der nachstehenden Ausführungen. Besonders im Abschnitt IV des genannten Aufsatzes: «Berechnung des Längenprofils bei gegebener Normalprofilbreite» sind die wichtigsten Probleme der Rheinfrage enthalten. Um die folgenden Ausführungen möglichst kurz zu halten, wird jeweils durch die Signatur z. B. (*II 3) auf den in Betracht fallenden Abschnitt jenes Artikels in Nr. 9 und 10 (Bd. 105) hingewiesen.

II. GRUNDLAGEN FÜR DIE BERECHNUNGEN

Die für die Berechnungen erforderlichen Grundlagen sind unter (*II 3) zusammengestellt und umfassen all das, was aus der Natur durch Beobachtungen und Messungen herausgeholt werden kann.

a) Musterstrecken.

In Abb. 4 (Seite 189) ist das Rheinlängenprofil 1932/33 von der Illmündung bis zum Bodensee mit Hilfe der ausgeglichenen Sohlen dargestellt. Es zerfällt in die vier charakteristischen Abschnitte:

Tabelle 1. Streckenteilung und Gefällsverhältnisse.

Bezeichnung	Km.	Gefälle 1932/33
Obere Strecke	68 bis 74	1,35 ‰
Diepoldsauer Durchstich . . .	74 bis 80	1,32 ‰
Zwischenstrecke	80 bis 85	0,96 ‰
Fussacher Durchstich	85 bis 90	0,81 ‰

Der Vergleich früherer Längenprofile aus den Jahresberichten der I. R. K. mit diesem Längenprofil 1932/33 ergibt, dass sich in der Obern Strecke (besonders von Km. 68 bis 74) und im Fussacher Durchstich Sohlenlage und Gefälle in den letzten Jahren vor 1932/33 praktisch nicht geändert haben. Es sind somit beim Rhein zwei Strecken gegeben, die im Sinne der Berechnungsmethode als «Musterstrecken» zu bezeichnen sind,

die obere «Musterstrecke» von Km. 68 bis 74
die untere, der Fussacher Durchstich, von Km. 85 bis 90.

Zwischen diesen beiden Strecken zeigt sich seit Eröffnung des oberen Durchstichs eine dauernde Verlandung, die z. B. nach den Querprofilaufnahmen 1931/34 im Mittel etwa 100 000 m³ im Jahr beträgt.

b) Quer- und Längenprofile des Rheins.

Es stehen solche Profilaufnahmen in beliebiger Anzahl zur Verfügung. Für die Berechnung wurden besonders jene der Jahre 1931 bis 1934 verwendet, dies deshalb, um vom gegenwärtigen Zustand aus die zukünftige Entwicklung berechnen zu können. Die Berechnung stützt sich also auf das in Abb. 4 dargestellte Längenprofil mit den in der Tabelle 1 enthaltenen Gefällen. — Die «massgebenden» Profile der (*II 4) beiden Musterstrecken wurden aus den Profilaufnahmen der nämlichen Jahre ermittelt. Sie unterscheiden sich, wie die Abb. 20 zeigt, in den Querneigungen der beweglichen Sohle und in der Breite der Kolkrinne. Das Sohlenbild des Fussacher Durchstichs ist ruhiger, die Kolke und Kiesbänke sind weniger ausgesprochen (vergl. Abb. 7 und 10, S. 191), das massgebende Profil also entsprechend flacher. Dieser starke Unterschied auf einer Flussstrecke von rd. 15 km ist auffallend und kann, wie später ersichtlich ist, nur aus dem grossen Unterschied zwischen den durch die beiden Strecken heute tatsächlich transportierten Geschiebemengen erklärt werden.

c) Wasserspiegelaufnahmen und Abflussmengenkurven.

Aus der Limnigraphenstation bei der Eisenbahnbrücke von St. Margrethen konnten von beiden Rheinbauleitungen auf Grund der Pegelkorrespondenz für die zahlreichen übrigen Pegel die Abflussmengenkurven bestimmt werden. Die Aufzeichnung dieser Abflussmengenkurven in das Längenprofil ergab einen praktisch parallelen Verlauf der Wasserspiegellinien mit der ausgeglichenen Sohle, sodass auch bei kleiner Wasserführung die Einführung eines «Normalabflusses» für eine Mittelwertberechnung berechtigt ist. Die für die beiden Musterstrecken gültigen Abflussmengenkurven sind in Abb. 20 in die massgebenden Profile eingezeichnet.

Aus diesen Abflussmengenkurven, den massgebenden Profilen und den Gefällen der ausgeglichenen Sohlen konnten für die beiden Musterstrecken nach der unter (*II 6) entwickelten Theorie die k-Werte berechnet werden. Sie sind in Abb. 21 in Funktion der Wassermenge dargestellt. Für eine bestimmte Strecke fällt vor allem ihre schöne Gesetzmässigkeit auf. Die kleinen Werte bei Niederwasser sind eine Folge des eingeführten Normalabflusses, der sich in Wirklichkeit aus einer Folge von Stau- und Senkungskurven zusammensetzt. Mit zunehmender Wassermenge verschwindet der Einfluss der Sohlenunregelmässigkeiten, der k-Wert strebt einem konstanten Werte zu. Was den Unterschied zwischen den k-Werten beider Strecken anbetrifft, muss betont werden, dass die hier bestimmten Werte sowohl das Sohlenbild als auch die Rauhigkeit im Einzelnen (Geschiebegrösse) zum Ausdruck bringen. So erklären sich die allgemein wesentlich grösseren k-Werte des Fussacher Durchstichs gegenüber der oberen Musterstrecke.

d) Jährliche Abflussmengen und ihre mittlere jährliche Dauerkurve.

Im Hydrographischen Jahrbuch der Schweiz sind die mittleren täglichen Abflussmengen bei St. Margrethen zusammengestellt. Die Abflussmengen schwanken von 50 bis 3000 m³/sec. Es ergibt sich jedoch schon durch blosses Nachblättern, dass Wassermengen über 1500 m³/sec selten sind und jeweils nur kurze Zeit andauern. Da von der Ansicht ausgegangen wurde, dass der Rhein eine Geschiebefunktion besitzt, fallen sehr kurzfristige Hochwasser bei der Berechnung praktisch ausser Betracht. Da es sich im weitern um eine Mittelwertsberechnung handelt, ist die Verwendung von Abflussmengen-Dauerkurven zweckmässig.

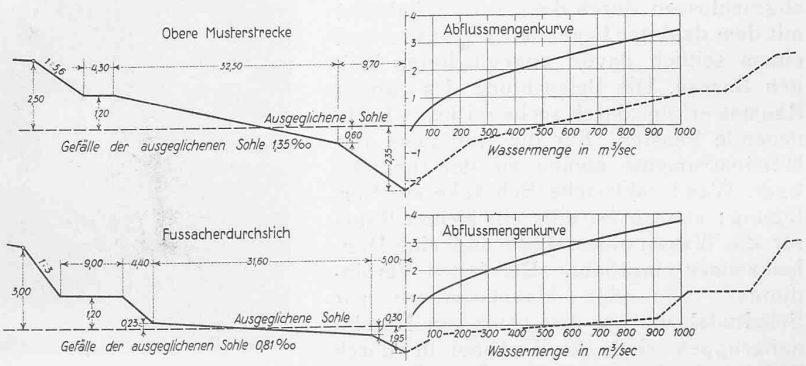


Abb. 20. Massgebende Profile und Abflussmengenkurven der beiden Musterstrecken.

[6]) «SBZ», Bd. 105, Nr. 9 und 10 (März 1935).

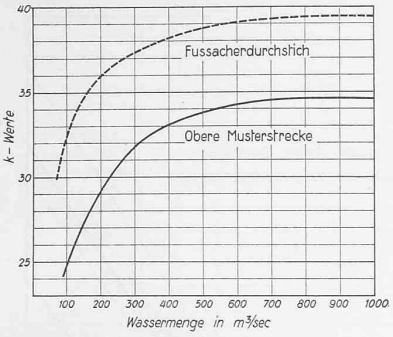


Abb. 21. k-Werte der beiden Musterstrecken in Funktion der Abflussmenge.

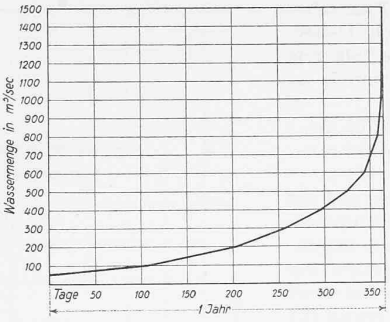


Abb. 22. Mittlere jährl. Dauerkurve der Abflussmengen (Mittel der Jahre 1919/1931).

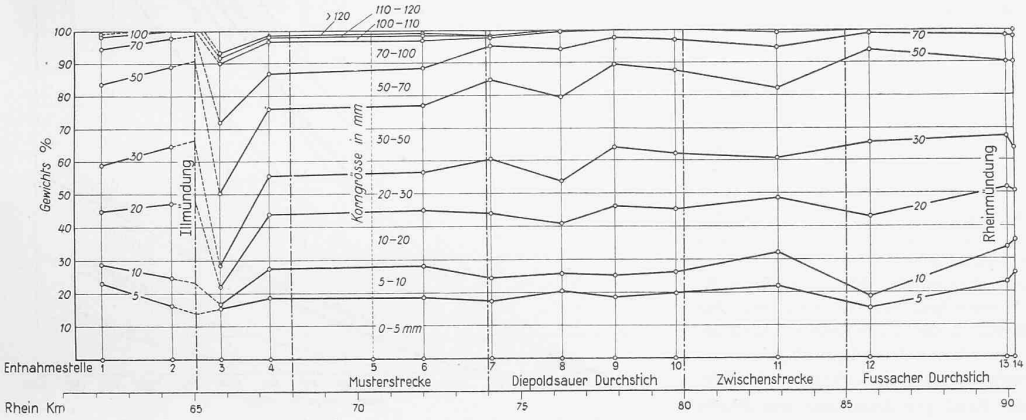


Abb. 23. Geschiebemischungsband für den Rhein von der Illmündung bis zum Bodensee. (Mitgeteilt von der Rheinbauleitung Bregenz.)

Für die Berechnungen wurde die mittlere jährliche Dauerkurve der Abflussmengen der Jahre 1919 bis 1931 verwendet. Bei dieser Mittelbildung verschwinden die Wassermengen über 1500 m³/sec praktisch überhaupt, wie die in Abb. 22 dargestellte Dauerkurve zeigt.

e) Mischungslinien der transportierten Geschiebe, ihr massgebender Durchmesser und Abrieb.

Die österreichische Rheinbauleitung hat im Winter 1931/32 im Abschnitt Illmündung-Bodensee eingehende morphologische Studien durchgeführt. In Abb. 23 ist das aus den Siebanalysen erhaltene Geschiebemischungsband dargestellt. Man erkennt daraus, dass mit Ausnahme einzelner Steine nur Geschiebe von einem mittl. Durchmesser unter 100 bis 110 mm vorkommen; davon sind 80 bis 90 % unter 50 mm. Aus dem Verlauf der einzelnen Linien für bestimmte Korngrössen erkennt man die Verfeinerung des Geschiebes mit zunehmender Lauflänge, d. h. den Abrieb.

In der Veröffentlichung der Berechnungsmethode (*II 1) wurde der massgebende Durchmesser, d. h. der das Verhalten eines Geschiebes bedingende Ersatzdurchmesser auf Grund von Versuchen mit einem Gemisch von 6 bis 40 mm Korngrösse definiert als der Durchmesser, der von 35 Gewichtsprozenten des Gemisches unterschritten wird. Diese Bestimmung erfolgt auf Grund der *Sohlenmischungslinie*. Es wurde dabei durch die Nachrechnung des Versuches «e» (*III) mit veränderlicher Wassermenge und einem Geschiebegemisch ausdrücklich festgestellt, dass die berechnete Geschiebefracht nur um wenige Prozente von der gemessenen abweicht, wenn man anstelle von mit der Wassermenge veränderlichen massgebenden Korndurchmessern deren Mittelwert einsetzt, also den massgebenden Durchmesser, der sich aus dem Sohlengemisch ergibt. Unter Vorbehalt der Ergebnisse weiterer Versuche wurde diese Regel zur Bestimmung des massgebenden Durchmessers auch für das Geschiebe des Rheins mit seiner charakteristischen Mischungslinie beibehalten.

Aus dem Geschiebemischungsband ist zu erkennen, dass die Geschiebezusammensetzung für die obere Musterstrecke gut definiert ist, weniger gut jene des Fussacher Durchstichs, weil die Entnahme 12 in den kleinen Korngrössen eine deutliche Anomalie aufweist. Sie stammt aus der einzigen *nicht* wandernden Kiesbank des Fussacher Durchstichs in der Konkaven der Krümmung unterhalb der Brugger Brücke (vergleiche Abb. 1), was eine Abweichung ihrer Kornzusammensetzung im Vergleich zu den andern Entnahmen begreiflich macht.

In Abb. 24 sind die aus den Mischungslinien ermittelten massgebenden Durchmesser der einzelnen Entnahmestellen aufgezeichnet und durch eine Gerade ungefähr ausgeglichen zwecks vorläufiger *roher* Bestimmung des Verlaufes dieser Berechnungsgrundlage. Es ergibt sich für die obere Musterstrecke (Km. 71) ein massgebender Durchmesser von 15 mm. Gegen den Fussacher Durchstich nimmt er infolge des Geschiebeabriebes ab und beträgt z. B. bei Km. 85 nur noch ungefähr 12 mm.

Damit sind alle Grundlagen dargelegt. Die nachstehenden Berechnungen wurden mit Hilfe der unter (*II 7) entwickelten Methode zur Berechnung des Geschiebetriebes durchgeführt.

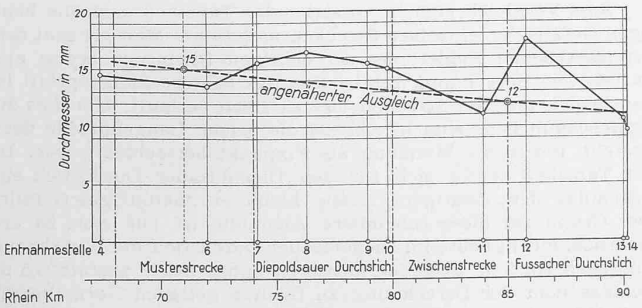


Abb. 24. Verlauf des massgebenden Korndurchmessers, ermittelt aus dem Geschiebemischungsband.

III. DURCHGEFÜHRTE BERECHNUNGEN

Durch die in Abb. 20 für die beiden Musterstrecken dargestellten Grundlagen ist, bis auf die massgebenden Durchmesser, alles zur Bestimmung der Geschiebefunktionen Erforderliche gegeben. Da der massgebende Durchmesser des Fussacher Durchstichs noch nicht eindeutig feststand, wurden die Geschiebefunktionen beider Musterstrecken für die massgebenden Durchmesser 12, 16 und 20 mm berechnet; sie sind in Abb. 25 dargestellt. Die für die obere Musterstrecke gültige Geschiebefunktion für $d =$ 15 mm ist interpoliert und in der Zeichnung hervorgehoben.

a) Geschiebekontinuität und Abriebkoeffizient.

Es handelte sich nun in erster Linie darum, den graphischen Ausgleich der aus den Siebanalysen ermittelten massgebenden Durchmesser zu kontrollieren, um den richtigen massgebenden Durchmesser für den Fussacher Durchstich zu erhalten. Dies ist möglich mit Hilfe der Geschiebekontinuität, die unter (*IV 2) eingehend dargelegt ist.

Aus den Profilaufnahmen der Rheinbauleitung Rorschach ergibt sich für *die drei Jahre 1931 bis 1934* zwischen Km. 71,0 und Km. 85,0 eine mittlere jährliche Verlandung von *104 300 m³*. Die Auswertung der für die obere Musterstrecke und $d =$ 15 mm gerechneten Geschiebefunktion mit Hilfe der Dauerkurven der Abflussmengen dieser drei Jahre ergibt für Km. 71,0 eine mittlere jährliche Fracht von *189 700 m³*. Es verbleibt also für den Fussacher Durchstich bei Km. 85,0 zunächst eine mittlere jährliche Fracht von 189 700 — 104 300 = 85 400 m³. Sie muss vermindert werden um den mittleren jährlichen Abrieb der Geschiebe auf der 14 km langen Laufstrecke; dieser Abrieb ist bestimmt durch die Abnahme des massgebenden Durchmessers auf dieser Strecke. Die Anwendung der Kontinuitätsgleichung (*IV, 2, Gl. 47) ergibt für eine Abnahme des massgebenden Durchmessers

von 15 auf 10,5 mm mittl. jährl. Abrieb von 88 800 m³
von 15 auf 12,0 mm mittl. jährl. Abrieb von 65 400 m³
von 15 auf 13,5 mm mittl. jährl. Abrieb von 37 700 m³

Nach der *Kontinuitätsbedingung* muss also der Fussacher Durchstich in Km. 85,0 bei einem massgebenden Durchmesser von

10,5 mm	noch eine mittl. jährl. Fracht (Soll-geschiebefracht) transportieren von	— 3 400 m³
12,0 mm		+ 20 000 m³
13,5 mm		+ 47 700 m³

Anderseits ergibt die Auswertung der für den Fussacher Durchstich gerechneten Geschiebefunktionen nach den Dauerkurven der Abflussmengen der drei Beobachtungsjahre folgende mittlere jährliche Frachten, die der Fussacher Durchstich zu fördern vermag (Transportvermögen):

für einen massgebenden Durchmesser von 12 mm 22 700 m³
von 16 mm 5 210 m³
von 20 mm 934 m³

Aus der graphischen Darstellung der Sollgeschiebefracht und des Transportvermögens in Funktion des massgebenden Durchmessers, ergibt sich in deren Schnittpunkt der massgebende Durchmesser bei Km. 85,0 zu *12,1 mm*. Der graphische Ausgleich der aus den Geschiebeanalysen ermittelten massgebenden Durchmesser findet sich also vollkommen bestätigt. Die Kontinuität ergibt für den Zeitraum 1931 bis 1934 folgendes Bild:

Mittl. jährl. Fracht in Km. 71 ($d = 15$ mm)		189 700 m³
Mittl. jährl. Verlandung von Km. 71 bis 85	104 300 m³	
Mittl. jährl. Abrieb von Km. 71 bis 85 ($d =$ von 15 auf 12,1 mm, oberes Ende des Fussacher Durchstichs)	63 400 m³	
		167 700 m³
Mittl. jährl. Fracht in Km. 85 ($d = 12{,}1$ mm)		22 000 m³

Die Abnahme des massgebenden Durchmessers von 15 auf 12,1 mm auf einer Laufstrecke von 14 km ergibt nach dem Sternberg'schen Abriebgesetz einen Abriebkoeffizienten von $c = 0{,}046\ km^{-1}$, und für die 16,5 km lange Strecke bis Mitte Fussacher Durchstich einen massgebenden Durchmesser von *11,65 mm*. Im allgemeinen findet man in der Literatur für ähnliche Flüsse eher kleinere Werte des Abriebkoeffizienten. Für die Berechnungen der Versuchsanstalt für Wasserbau wurde trotzdem der Wert 0,046 verwendet, denn er ist durch die vorhandenen Grundlagen belegt; da er auf Grund der Literaturangaben eher zu gross erscheint, sind also die folgenden Ergebnisse eher zu günstig.

b) Rechnerische Erklärung der heutigen Zustände am Rhein und Beurteilung der zukünftigen natürlichen Sohlenausbildung, wenn keine Massnahmen getroffen werden.

Für das ganze Rheinproblem ist die Geschiebeführung der oberen Musterstrecke massgebend. Sie führt den unteren kritischen Strecken jährlich eine gewisse Geschiebefracht zu und diese Fracht muss von ihnen absorbiert werden. Die Auswertung der für die obere Musterstrecke ($d = 15$ mm) ermittelten Geschiebefunktion mit Hilfe der mittl. Dauerkurve der Abflussmenge der *Jahre 1919/31* ergibt diese mittlere jährl. Fracht zu *216 000 m³*.

Aus dem ermittelten Abriebkoeffizienten kann nun die Verminderung dieser Fracht durch Abrieb berechnet werden und man erhält auf diese Weise *die Frachten, die die untern Strecken transportieren müssen, wenn sie nicht verlanden sollen.* Diese sind in Tabelle 2 mit dem entsprechenden massgebenden Durchmesser für die Mitten der einzelnen Strecken berechnet.

Tabelle 2. Mittl. Geschiebefrachten im Gleichgewichtszustand.

Km.	Bezeichnung	Mittl. jährl. Geschiebefracht	Massgebender Durchmesser
71	Musterstrecke	216 000 m³	15 mm
77	Diepoldsauer Durchstich	164 000	13,7
82,5	Zwischenstrecke	127 000	12,55
87,5	Fussacher Durchstich	103 000	11,65

Wendet man die für den Fussacher Durchstich berechnete Geschiebefunktion für $d = 11{,}65$ mm auf die mittlere Dauerkurve der Jahre 1919 bis 31 in analoger Weise an, so ergibt sich ein mittleres Transportvermögen von 31 000 m³ pro Jahr, während gemäss Tabelle 2 ein Mehrfaches, nämlich 103 000 m³ von ihm verlangt wird, wenn die ganze Rheinstrecke sich im Gleichgewichtszustand befindet. *Im Gegensatz zwischen diesen beiden Zahlen liegt der Kern des Rheinproblems.* Dass trotz des ungenügenden Transportvermögens im Fussacher Durchstich bis zum Jahre 1932 keine Verlandung eingetreten ist, ist nur dem Umstand zuzuschreiben, dass auch die Zwischenstrecke ein ungenügendes Transportvermögen besitzt, sodass sich das Geschiebe vorerst in der Zwischenstrecke und im oben anschliessenden Diepoldsauer Durchstich ablagerte.

Eine direkte Bestimmung der zukünftigen Sohle des Rheins unter der Annahme, dass keine Massnahmen getroffen werden, ist nicht möglich, weil bei starken Sohlenerhöhungen das Mittelgerinne gänzlich verschwindet und eine Verwilderung des Rheinlaufes zwischen den Hochwasserdämmen eintritt, die rechnerisch nicht erfasst werden kann. — Eine angenäherte Beurteilung der Höhenlage der zukünftigen Sohle, die aber immer noch viel zu günstig ist, ist möglich, wenn man für die Berechnung das für die heutige Regulierung gewählte Normalprofil verwendet und

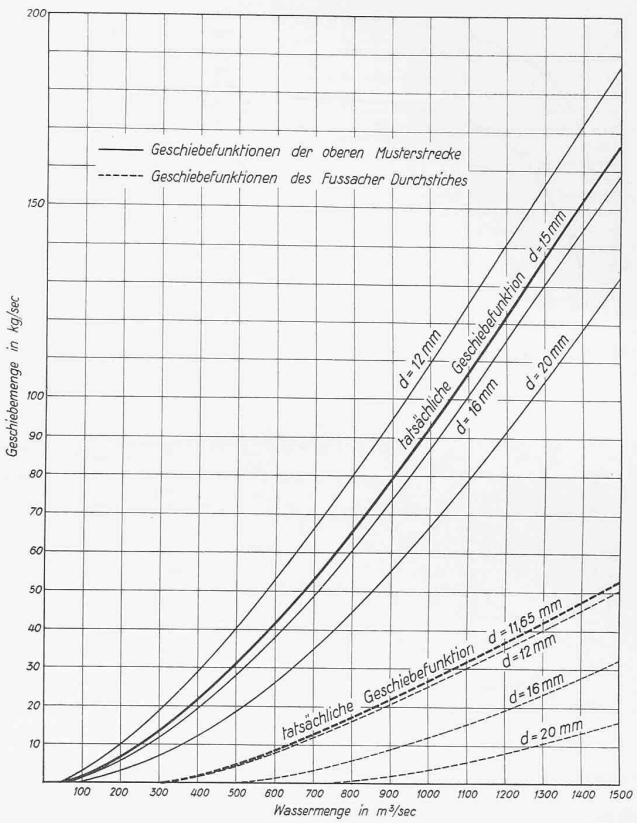


Abb. 25. Geschiebefunktionen der beiden Musterstrecken für die massgebenden Durchmesser von 12,16 und 20 mm.

daraus das Längenprofil berechnet, das keine Verlandungen ergibt, d. h. das Längenprofil, das dem heutigen Normalprofil hätte zu Grunde gelegt werden müssen.

Das Normalprofil lt. Staatsvertrag ist dargestellt in Abb. 4 (S. 189). Die Aufgabe besteht nun darin, für dieses Profil und die in Tabelle 2 für die einzelnen Strecken enthaltenen Geschiebefrachten und massgebenden Durchmesser die Gefälle zu berechnen. Es stellt sich vorerst die Frage nach den zukünftigen massgebenden Profilen der einzelnen Strecken und nach den k-Werten. Bei der Besprechung der Grundlagen wurde darauf aufmerksam gemacht, dass ein grosser Unterschied in den massgebenden Profilen und den k-Werten der beiden Musterstrecken bestehe. Es wurde gezeigt, dass die k-Werte, wie die massgebenden Profile, vom Sohlenbild und damit von der Geschiebeführung abhängig sind. Das massgebende Profil ist gemäss Abb. 20 gegeben durch die Breite der Kolkrinne und die beiden Querneigungen. Die genaue Abhängigkeit dieser Werte von den Geschiebefrachten ist aber unbekannt. Näherungsweise wurden die Querneigungen, die Kolkrinnenbreite und die k-Werte entprechend den Geschiebefrachten der Tabelle 2 *linear* interpoliert. Das Ergebnis der Berechnung ist folgendes:

Tabelle 3. Längenprofil bei einer Normalprofilbreite von 110 m.

Rheinstrecke	Km.	Zukünftig	Heute
Fussacher Durchstich	90 bis 85	1,04 ‰	0,81 ‰
Zwischenstrecke	85 bis 80	1,135	0,96
Diepoldsauer Durchstich	80 bis 74	1,255	1,32
Musterstrecke	74 bis 68	1,35	1,35

Zum Vergleich sind in vorstehender Tabelle 3 auch die heutigen Gefälle der einzelnen Strecken angeführt. Man erkennt den grundsätzlichen Fehler, der der heutigen Rheinregulierung anhaftet. Die Berechnung zeigt, dass das heutige Längenprofil in den beiden unteren Strecken viel zu flach verläuft. Um dies zu veranschaulichen, sind in Abb. 26 die beiden Längenprofile dargestellt, indem die Mündung als Fixpunkt betrachtet wurde. In der Tabelle 3 ergibt sich für den Diepoldsauer Durchstich ein gegenüber dem heutigen Gefälle kleineres zukünftiges Gefälle. Der Grund für diese scheinbare Anomalie ist aus Abb. 26 ersichtlich, indem heute im Diepoldsauer Durchstich die Wuhrkrone nur noch rd. 2 m über der mittleren Sohle liegt, anstatt 3,5 m gemäss dem der Berechnung zu Grunde gelegten Normalprofil mit 110 m Breite (Abb. 3, S. 188). Die Berechnung setzt, wie gesagt, den Ausbau des Staatsvertragsprofils mit 110 m Breite

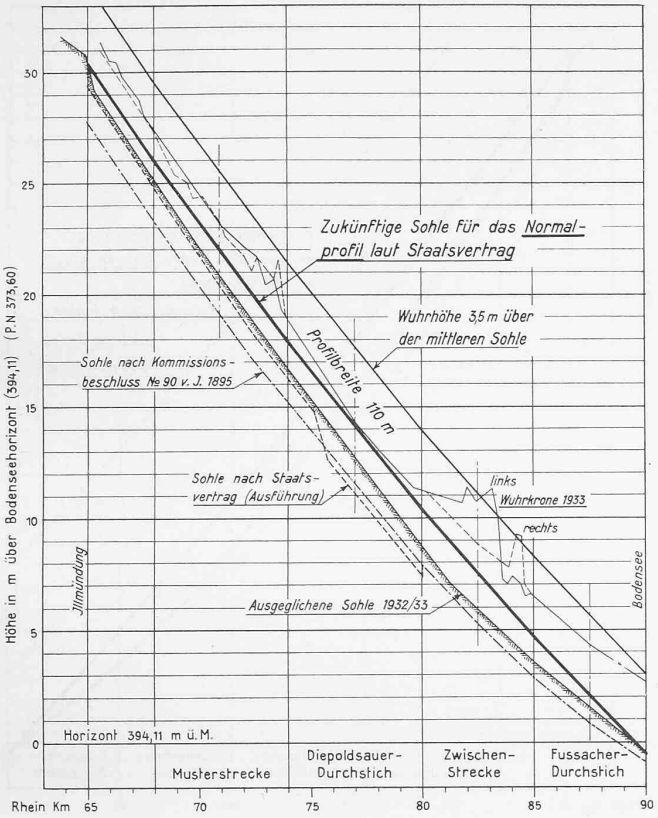


Abb. 26. Zukünftiges Rhein-Längenprofil für das Normalprofil laut Staatsvertrag.

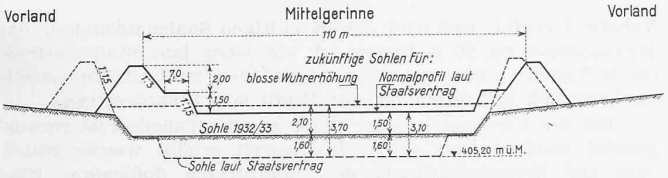


Abb. 27. Zukünftige Lage des Normalprofils lt. Staatsvertrag und des Profils für die blosse Wuhrerhöhung bei Km. 77 im Diepoldsauer D'stich.

in richtiger Höhenlage voraus, wie dies durch Abb. 27 veranschaulicht ist. Würde keine Verbauung der drei Strecken erfolgen, so müsste sich das Längenprofil noch mehr aufrichten, weil die Wuhre bei zunehmender Verschotterung immer weniger wirksam werden, bis schliesslich das Mittelgerinne ganz verschwindet.

Man erkennt, dass der gegenwärtige Auflandungsprozess am Rhein noch keineswegs abgeschlossen ist, sondern eigentlich erst den Anfang der zukünftigen Sohlenausbildung darstellt.

c) Studium von Massnahmen zur Verminderung der Sohlenerhöhungen.

1. Bauliche Massnahmen.

a) Verengung des Mittelgerinnes.

Es ist bekannt, dass bei verlandenden Flüssen die Verengung des Abflussquerschnittes eine Abhilfmassnahme darstellt. Diese Erfahrungstatsache, die sich durch die Rhein-Modellversuche bestätigt fand, hat uns veranlasst, in erster Linie die Wirkung einer Verengung des Mittelgerinnes zu studieren. Von den verengten Strecken müssen wieder die Frachten der Tabelle 2 transportiert werden können, denn es wird ja bezweckt, dass keine Verlandung eintreten darf. Für diese Frachten sind die massgebenden Profile und k-Werte für die Profilbreite von 110 m aus dem oben beschriebenen Näherungsverfahren bekannt. Aus den Rhein-Modellversuchen, die im Kapitel A beschrieben sind, zeigte sich, dass die Querneigungen des massgebenden Profils durch die Verengung etwas steiler werden. Dementsprechend wurden die für die Profilbreite von 110 m gegebenen massgebenden Profile abgeändert, die k-Werte jedoch direkt übernommen, da der Unterschied nicht wesentlich ist.

Die Berechnungen wurden durchgeführt für 20 und 40 m Verengung, also für die Profilbreiten von 90 und 70 m, und die Wuhrhöhen so bemessen, dass im Mittelgerinne 1000 m³/sec geschlossen abfliessen können. Die Ergebnisse sind in nachstehender Tabelle 4 zusammengestellt, und zum Vergleich sind die Gefälle für das Profil mit 110 m Breite und den Zustand 1932/33 ebenfalls angeführt.

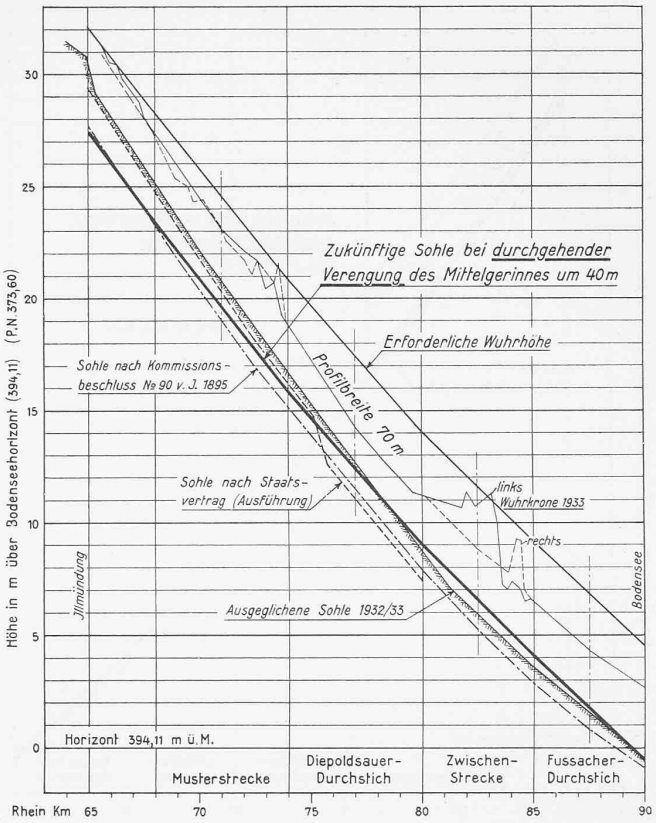


Abb. 28. Zukünftiges Rhein-Längenprofil *bei durchgehender Verengung* des Mittelgerinnes um 40 m.

Tabelle 4. Längenprofil bei verschiedenen Breiten des Mittelgerinnes mit einem Fassungsvermögen von 1000 m³/sec.

Strecke	Km.	Zukünftiges Gefälle in ‰			Gefälle 1932/33
		Profil laut Staatsvertrag, Profilbreite 110 m	Verengung von 110 m um — 20 m (Profilbreite 90 m)	— 40 m (Profilbreite 70 m)	
		1	2	3	4
Fussacher Durchstich	90÷85	1,04	0,984	0,918	0,81
Zwischenstrecke	85÷80	1,135	1,075	0,998	0,96
Diepoldsauer Durchstich	80÷74	1,255	1,195	1,135	1,32
Musterstrecke	74÷68	1,35	1,304	1,261	1,35

Aus den Kolonnen 1 bis 3 ist die Wirkung der Verengung ersichtlich. Es wird also durch die Verengung tatsächlich erreicht, dass bei gegebener Fracht ein kleineres Gefälle für ihren Transport nötig ist. Damit hat die Rechnung die Erfahrungstatsache bestätigt, dass bei gegebenem Gefälle durch Verengen eine Verlandung behoben werden kann. In Abb. 28 ist nun das Rheinlängenprofil für 40 m Verengung, also für eine durchgehende Breite des Mittelgerinnes von 70 m, im Vergleich zum Längenprofil 1932/33 dargestellt. Der Vergleich der Längenprofile zeigt, dass durch die Verengung in den beiden oberen Strecken eine starke Wirkung erzielt wird. Die heutigen kleinen Gefälle der beiden untern Strecken werden aber nicht erreicht, sodass trotz der einschneidenden Massnahme weitere Verlandungen einsetzen. Diese werden aber innerhalb erträglicher Grenzen gehalten, womit die erkannte Gefahr der Verwilderung des Rheins behoben ist.

Aus der Tabelle 4 kann durch Inter- und Extrapolation für jede Profilbreite von 60 bis 120 m das entsprechende Gefälle bestimmt werden. Auch ist die Kombination verschiedener Verengungen der einzelnen Strecken möglich, *nur muss in jedem Fall das Längenprofil vom heutigen Fixpunkt, nämlich der Mündung (Km. 90) aus, aufgetragen werden.*

Die folgende Kombination:

Fussacher D. Normalprofil lt. Staatsvertrag [7]) Gefälle 1,04 ‰
Zwischenstrecke » » » Gefälle 1,135 ‰
Diepolds. Durchstich, 40 m Verengung Gefälle 1,135 ‰

[7]) Um Missverständnisse zu vermeiden, wird darauf hingewiesen, dass die für das «Normalprofil laut Staatsvertrag» berechneten Gefälle unter der ausdrücklichen Bedingung erhalten wurden, dass das Normalprofil in seiner Höhenlage dem berechneten Gefälle angepasst werde, wie dies in Abb. 27 dargestellt ist.

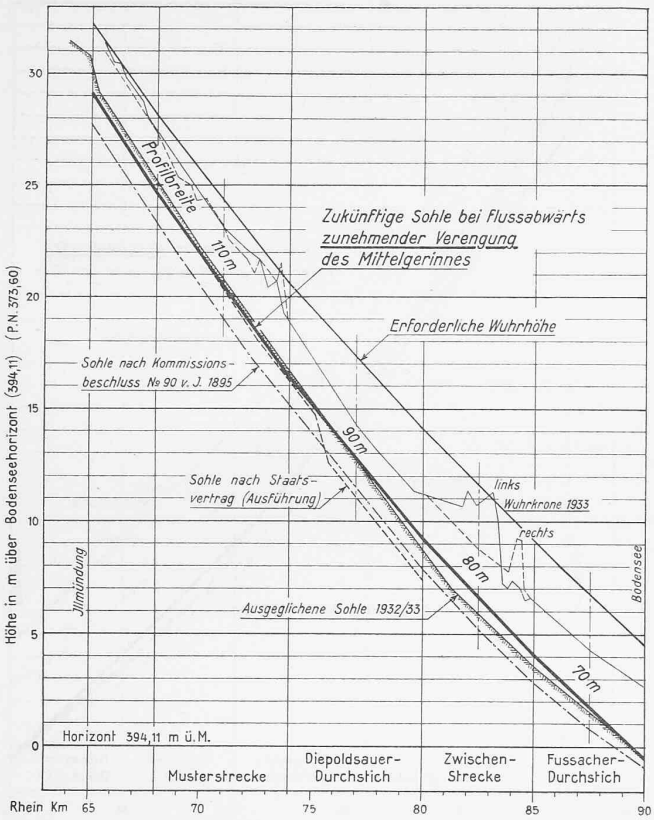


Abb. 29. Zukünftiges Rhein-Längenprofil bei flussabwärts *zunehmender Verengung* des Mittelgerinnes (Variante A).

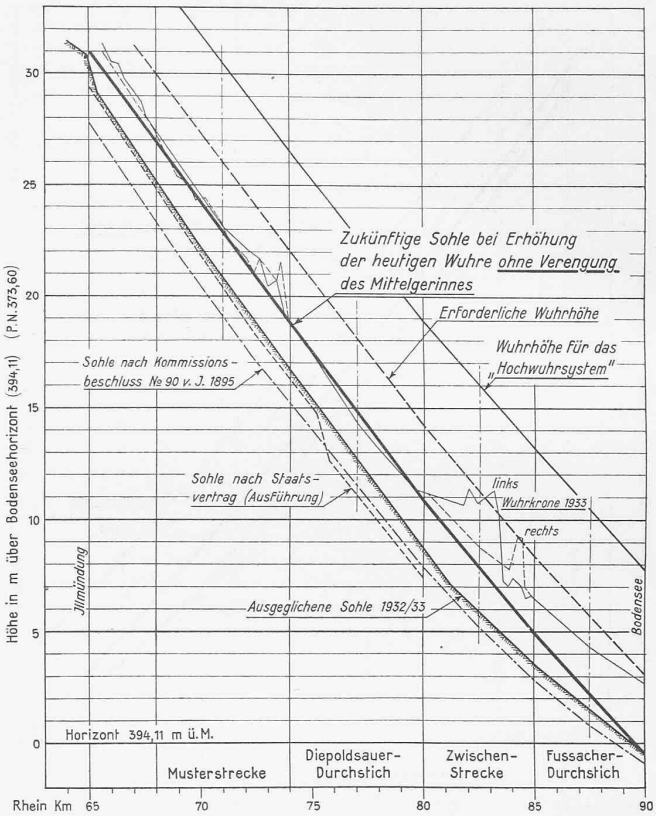


Abb. 30. Zukünftiges Rheinlängenprofil bei Erhöhung der heutigen Wuhre *ohne* Verengung des Mittelgerinnes.

ergibt die bereits festgestellte Tatsache, dass durch eine an sich sehr wirksame Teilverbauung des Diepoldsauer Durchstichs praktisch nichts erreicht wird, weil sein unterer Sohlenendpunkt durch den Zustand der beiden untern Strecken automatisch gegenüber der Sohle 1932/33 um rund 2 m gehoben wird. — Eine ganz andere Wirkung ergibt z. B. die in Abb. 29 dargestellte «Variante A» mit folgender Verbauung:

Fussacher Durchstich	Verengung 40 m	Gefälle 0,918 ‰
Zwischenstrecke	Verengung 30 m	Gefälle 1,036 ‰
Diepoldsauer Durchstich	Verengung 20 m	Gefälle 1,195 ‰
Musterstrecke	Verengung 0 m	Gefälle 1,35 ‰

Dies ist *die Lösung*, die die I. R. K. den Regierungen der Vertragstaaten vorgeschlagen hat.[8])

β) Wuhrerhöhung und «Hochwuhr»

Es stellte sich die Frage, ob nicht eine durchgehende Erhöhung der heutigen Wuhre, also ohne Veränderung der Breite, auch genügen könnte, um den Rhein zu sanieren. Eine Beurteilung dieser Frage ist ohne weiteres durch die vorstehenden Untersuchungen möglich.

Abb. 27 zeigt, welche Lage das Normalprofil mit 110 m Breite z. B. im Diepoldsauer Durchstich im Vergleich zum heutigen Profil einnehmen müsste, falls mit diesem Profil ein Gleichgewichtszustand angestrebt würde. Das rechte Wuhr ist normal erhöht, das linke zur Beibehaltung der ursprünglichen Breite von 110 m gegen die Flussmitte verschoben. Bei blosser Erhöhung der Wuhre ohne diese Anpassung würde die durch die gestrichelte Linie gekennzeichnete Profilform entstehen. Mit zunehmender Verlandung würde folglich das Profil breiter und da mit zunehmender Breite nach Tabelle 4 das erforderliche Sohlengefälle zunimmt, folgt, dass diese Lösung ein noch ungünstigeres Längenprofil ergäbe, als das zukünftige Längenprofil mit angepasstem Normalprofil laut Staatsvertrag. Die Extrapolation der Tabelle 4 ergibt, weil nach der endgültigen Sohlenausbildung das Mittelgerinne rd. 20 m breiter ist, als jenes laut Staatsvertrag, die in Tabelle 5 eingetragenen ungefähren zukünftigen Gefälle im Vergleich mit denen für das Profil laut Staatsvertrag.

Bei der Verwendung der Werte aus der Tabelle 4 ist vorausgesetzt worden, dass die Wuhre soweit erhöht werden sollen, dass *mit Berücksichtigung der zukünftigen Sohlenlage* rund 1000 m³/sec im Mittelgerinne allein abfliessen. Dies entspricht z. B. im Diepoldsauer Durchstich einer Erhöhung der heutigen Wuhre um etwa 3,5 m. In den Gefällen der Tabelle 5 ist also im Vergleich zu den ersten drei Kolonnen der Tabelle 4 nur der Einfluss der durch die Erhöhung der heutigen Wuhre bedingten Verbreiterung der Profile enthalten.

Es stellt sich weiter die Frage, ob eine Verbesserung dadurch erzielt werden kann, dass die Wuhre noch mehr erhöht werden. Um diesen Einfluss zu erkennen, wurde der Extremfall untersucht, nämlich das *«Hochwuhrsystem»*, d. h. die Erhöhung der heutigen Wuhre auf die Höhe, bei der überhaupt alle Wassermengen bis 3200 m³/sec im Mittelgerinne abgeführt werden. Das Resultat dieser Berechnung ist in Tabelle 6 mit den beiden Varianten der Tabelle 5 und den heutigen Gefällen zusammengestellt.

Der Vergleich der Kolonnen 1 und 2 ergibt das interessante Resultat, dass die geschlossene Abführung der Hochwasser über 1000 m³/sec im Mittelgerinne auf die Sohlenausbildung praktisch keinen Einfluss mehr hat. Dies gilt als Begründung der Festlegung der 1000 m³/sec-Grenze für die Varianten mit Verengung. Dies ist sofort verständlich, wenn man sich überlegt, dass in einem Fluss mit *gesetzmässiger Geschiebeführung* die Dauer, während der eine gewisse Wassermenge abfliesst, von grösster Wichtigkeit ist. Es ist deshalb ausgeschlossen, dass am Rhein Wassermengen über 1000 m³/sec, die im Mittel im Jahr vielleicht an einem, höchstens an zwei Tagen auftreten, bezüglich Geschiebeförderung eine wesentliche Rolle spielen können.

[8]) Vergl. Jahresbericht 1934 der I. R. K.

Tabelle 5. Längenprofil des Rheins bei blosser Wuhrerhöhung

Strecke	Km	Zukünftige Gefälle in ‰	
		Wuhrerhöhung	Normalprofil lt. Staatsvertrag
		1.	2.
Fussacher Durchstich	90 bis 85	1,096	1,04
Zwischenstrecke	85 bis 80	1,195	1,135
Diepoldsauer Durchstich	80 bis 74	1,311	1,255
Musterstrecke	74 bis 68	1,406	1,350

Tabelle 6. Längenprofil für das Hochwuhr ohne jede Verengung

Strecke	km	Zukünftige Gefälle in ‰			Heutige Gefälle ‰
		Einfache Wuhrerhöhung	Hochwuhrsystem	Normalprofil lt. Staatsvertrag	
		1.	2.	3.	
Fussacher D'stich	90 bis 85	1,096	1,09	1,04	0,81
Zwischenstrecke	85 bis 80	1,195	1,185	1,135	0,96
Diepoldsauer Dst.	80 bis 74	1,31	1,31	1,255	1,32
Musterstrecke	74 bis 68	1,406	1,35	1,350	1,35

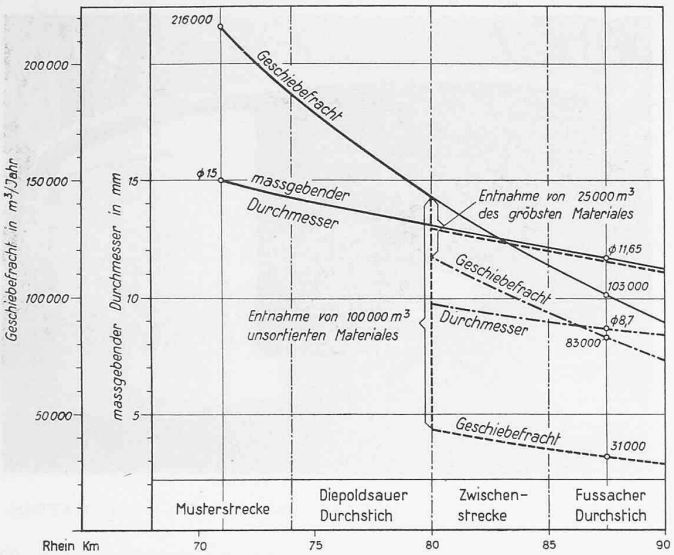


Abb. 31. Geschiebe-Frachtverlauf und Verlauf des massgebenden ∅.
— — — Entnahme von 100000 m³ unsortierten Materials in Km. 80.
—·—·— Entnahme von 25000 m³ des gröbsten Materials in Km. 80.

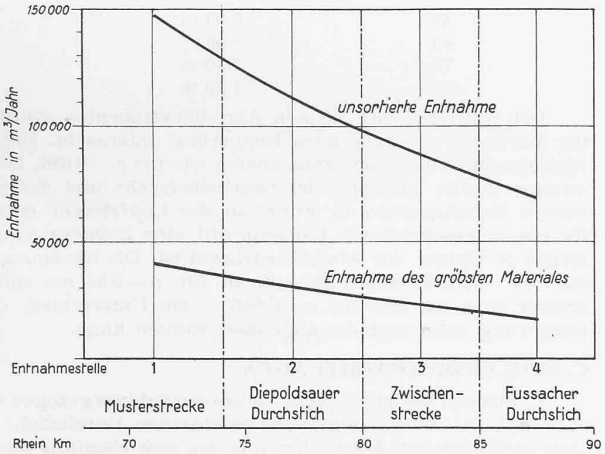


Abb. 32. Baggermenge in Funktion des Entnahmeorts und der Entnahmeart.

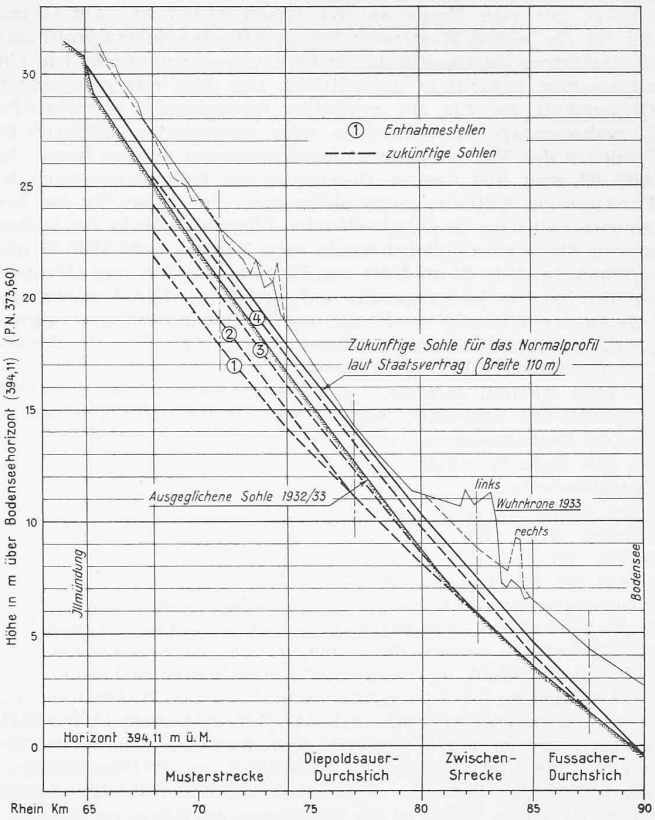


Abb. 33. Rhein-Längenprofil für die Baggerstellen und Mengen der Abb. 32.

In Abb. 30 ist das zukünftige Rheinlängenprofil bei durchgehender Erhöhung der heutigen Wuhre dargestellt. Es ist, wie die Berechnung zeigt, auch gültig für das Hochwuhrsystem. Man erkennt, dass sich selbst bei bedeutender Erhöhung der heutigen Wuhre eine zukünftige Rheinsohle einstellt, die in der Zwischenstrecke und im Diepoldsauer Durchstich um rd. 2,0 m höher liegt, als die heutige Sohle. Es wird also nicht, wie erstrebt, eine Sohlen*absenkung* eintreten, sondern eine so starke *Erhöhung*, dass bei der einfachen Wuhrerhöhung auch die heutigen Hochwasserdämme erhöht werden müssten. Beim Hochwuhrsystem müsste bei Hochwasser mit einer ausserordentlich hohen Lage des Wasserspiegels gegenüber der Talsohle (vergl. Abb. 30 mit Abb. 2, S. 187) gerechnet werden.

2. Dauernde Baggerungen.

Die Tatsache, dass sich heute im Diepoldsauer Durchstich und in der Zwischenstrecke jährlich rund 100000 m³ Geschiebe ablagern, führt zu der Ueberlegung, dass, wenn man jeden Winter die im Sommer abgelagerte Geschiebemenge durch Baggern aus dem Rhein entfernt, das heutige Längenprofil des Rheines erhalten werden kann. Man schafft sich an irgend einer Stelle in der Zwischenstrecke oder im Diepoldsauer Durchstich in jedem Winter durch Baggern einen künstlichen Kiesfang. Dieser wird im Verlauf des Sommers aufgefüllt und dadurch den unterhalb liegenden Strecken eine um die Auffüllung verminderte Geschiebefracht zugeführt, für deren Transport diese Strecken ein wesentlich kleineres Gefälle benötigen, als wenn sie die ganze Fracht fördern müssten. In Abb. 31 ist aus Tabelle 2 der natürliche Geschiebefrachtverlauf und der Verlauf des massgebenden Durchmessers dargestellt, wie er sich durch den Abrieb ergibt. Wird nun z. B. bei Km. 80 jährlich eine Geschiebemenge von rund 100000 m³ durch Baggern entnommen, dann ergibt sich der gestrichelte Geschiebefrachtverlauf. Oberhalb, wie unterhalb der Entnahmestelle nimmt die Fracht gesetzmässig durch den Abrieb ab. Bei Km. 87,5, also im Fussacher Durchstich, beträgt die Fracht noch 31000 m³; der Verlauf des massgebenden Durchmessers ändert sich durch die Entnahme nicht, er beträgt also für den Fussacher Durchstich nach wie vor 11,65 mm. Die Fracht von 31000 m³ bei einem massgebenden Durchmesser von 11,65 mm entspricht aber gerade seinem heutigen Transportvermögen bei 0,81 ‰ Gefälle. Für die Zwischenstrecke ergibt sich eine Fracht von rd. 40000 m³ bei einem massgebenden Durchmesser von 12,5 mm, was einem zukünftigen Gefälle von 0,90 ‰ entspricht. Die Folge der Entnahme von jährlich 100000 m³ bei Km. 80 würde also ungefähr folgendes Längenprofil ergeben:

1. Musterstrecke — Gefälle 1,35 ‰ * (1,35 ‰)
2. Diepoldsauer Durchstich — Gefälle 1,25 ‰ * (1,32 ‰)
   * Gefälle entsprechend Normalprofil laut Staatsvertrag,
3. Zwischenstrecke — Gefälle 0,90 ‰ (0,96 ‰)
   Baggerung von 100000 m³ jährlich bei Km. 80,
4. Fussacher Durchstich — Gefälle 0,81 ‰ (0,81 ‰)

Die Klammerwerte sind die Gefälle der Sohle (1932/33). Man erhält also ein etwas günstigeres Längenprofil als das Längenprofil 1932/33.

Eine andere Möglichkeit ist die Entnahme vorwiegend groben Materiales, womit eine doppelte Wirkung erzielt würde, nämlich eine Abnahme der Geschiebefracht und gleichzeitig eine Verfeinerung des Geschiebes. Vermindert man z. B. die Geschiebefracht von rund 145000 m³ in Km. 80 um rd. 25000 m³ des gröbsten Geschiebes, dann sinkt auch der massgebende Durchmesser der verbleibenden Fracht von 120000 m³ auf ungefähr 9,8 mm; durch Abrieb vermindert sich diese bis Km. 87,5 auf 83000 m³ und der massgebende Durchmesser auf ungefähr 8,7 mm, wie dies in Abb. 31 durch die strichpunktierten Linien dargestellt ist. Diese 83000 m³ mit dem massgebenden Durchmesser von 8,7 mm können ebenfalls mit dem Gefälle von 0,81 ‰ transportiert werden. Für die Zwischenstrecke beträgt die Fracht 104000 m³, der massgebende Durchmesser 9,3 mm und das Gefälle rund 0,9 ‰. Man erhält also wegen der Verfeinerung des Geschiebes durch die Entnahme von nur 25000 m³ des gröbsten Geschiebes das gleiche Rheinlängenprofil, wie durch die Entnahme von 100000 m³ unsortierten Materials.

Es ist klar, dass sich diese beiden willkürlich gewählten Beispiele beliebig vermehren lassen. Das zukünftige Rheinlängenprofil hängt ab vom Entnahmeort, von der Entnahmemenge und davon, ob diese Entnahmemenge ausschliesslich aus grobem, also aus sortiertem, oder aus unsortiertem Material besteht. Je nach Wahl dieser Grössen kann jedes praktisch in Frage kommende Längenprofil gehalten werden, sodass die endgültige

Lösung nur eine Frage der Wirtschaftlichkeit ist. Auf Grund der für die beiden Musterstrecken und für das Normalprofil laut Staatsvertrag durchgeführten Berechnungen war es möglich, ein allgemeines Diagramm aufzustellen, aus dem mit genügender Genauigkeit die für ein gewähltes Längenprofil erforderliche Entnahmemenge an sortiertem oder unsortiertem Material in Funktion des Entnahmeortes direkt abgelesen werden kann. In Abb. 32 sind aus diesem Diagramm die Entnahmemengen in Funktion des Entnahmeortes dargestellt und zwar für den besondern Fall, dass die entsprechenden Längenprofile in den beiden untern Strecken möglichst wenig vom Längenprofil 1932/33 abweichen. In Abb. 33 sind die den Entnahmestellen und -Mengen entsprechenden Längenprofile aufgezeichnet. Zur Veranschaulichung der Wirkung der Baggerung ist das zukünftige Längenprofil für das Profil laut Staatsvertrag, also ohne Geschiebeentnahme, ebenfalls eingezeichnet.

Man erkennt, dass die, für den besprochenen besondern Fall erforderlichen Entnahmemengen umso kleiner werden, je weiter man die Entnahmestelle flussabwärts verschiebt, eine Feststellung, die sich dadurch erklärt, dass sich eine weit oben entnommene Geschiebemenge, wenn sie erst weiter unten gebaggert worden wäre, durch den Abrieb selbsttätig verkleinert hätte. Die oben liegende Baggerstelle hat weiter den Nachteil, dass, wenn die Gefälle der untersten beiden Strecken beibehalten werden sollen, in den oberen Strecken eine starke Erosion eintritt, die Wuhrsicherungen erfordern würde. Die günstigsten Entnahmestellen liegen theoretisch zwischen Km. 77 und 82,5. Vom praktischen Standpunkt aus werden die Transport- und Ablagerungsverhältnisse für die Wahl der Baggerstelle ausschlaggebend sein.

Das Baggern hat gegenüber jeder baulichen Massnahme den Vorteil, dass das Ausmass der Arbeiten sich auch in Zukunft den Erfordernissen gut anpassen lässt. So würde z. B. durch eine gleichzeitige beschleunigte Durchführung der Wildbachverbauungen mit der Zeit eine wesentlich kleinere Entnahmemenge erforderlich sein. Heute ist die Baggerung am Rhein *unerlässlich*, denn die Verhältnisse haben sich schon soweit entwickelt, dass nur eine *sofort* wirkende Massnahme genügende Sicherheit verspricht. Man muss sich deshalb fragen, ob nicht die dauernde Baggerung die zweckmässigste und billigste Lösung darstellt.

Auf jeden Fall ist es nicht richtig, die dauernde Baggerung als eine «Verlegenheitslösung» zu betrachten. Wie sich aus dem Vorstehenden ergibt, sind einmalige bauliche Massnahmen möglich, es handelt sich aber darum, unter den möglichen wirksamen Lösungen die billigste zu finden.

d) Einfluss des Geschiebeabriebes auf die Ergebnisse der Berechnungen.

Alle vorstehenden Berechnungsergebnisse wurden für den Abriebkoeffizienten $c = 0{,}046$ km^{-1} ermittelt, der sich aus den zur Verfügung stehenden Grundlagen ergab. Bei seiner Bestimmung aus den Siebanalysen und der Geschiebekontinuität wurde nicht berücksichtigt, dass eine Verkleinerung der Geschiebekorngrösse auch durch die Verlandung im Diepoldsauer Durchstich und in der Zwischenstrecke entstehen kann. Dies hätte dann zur Folge, dass der aus den Siebanalysen und der Kontinuität ermittelte Abriebkoeffizient zu gross gewählt würde. Jedenfalls war es zweckmässig, den Einfluss des Abriebkoeffizienten auf die Ergebnisse der Berechnung zu überprüfen.

Zur Berücksichtigung der möglichen Fehlergrenzen wurden die wichtigsten Berechnungen auch für die Abriebkoeffizienten $c = 0{,}03$ und 0,01 durchgeführt. Der zweite Wert ist allerdings durch die Naturbeobachtung als ausgeschlossen zu betrachten. In der nachstehenden Tabelle 7 sind die zukünftigen Frachten und massgebenden Durchmesser der einzelnen Strecken in Funktion des Abriebkoeffizienten zusammengestellt.

Tabelle 7. Geschiebefrachten und massgebende Korndurchmesser bei verschiedenen Abriebkoeffizienten

Strecke	Km.	Mittl. jährl. Geschiebefracht der einzelnen Strecken für die Abriebkoeffizienten				
		$c =$	0,046	0,030	0,010	0,000
Musterstrecke	71	Fracht m³	216 000	216 000	216 000	216 000
		∅ in mm	15	15	15	15
Diepoldsauer-D.	77	Fracht m³	164 000	180 400	203 400	216 000
		∅ in mm	13,7	14,1	14,7	15
Zwischenstr.	82,5	Fracht m³	127 000	152 700	192 200	216 000
		∅ in mm	12,5	13,4	14,4	15
Fussacher-D.	87,5	Fracht m³	103 000	131 200	182 700	216 000
		∅ in mm	11,65	12,7	14,2	15

In Tabelle 8 sind die ungefähren Sohlenerhöhungen zusammengestellt, die gegenüber den für $c = 0{,}046$ berechneten Längenprofilen erwartet werden müssten, wenn der Abriebkoeffizient anstatt 0,046 nur 0,03 betragen sollte. Die Tabelle bezieht sich auf das Profil laut Staatsvertrag und die Verengung von 20 und 40 m.

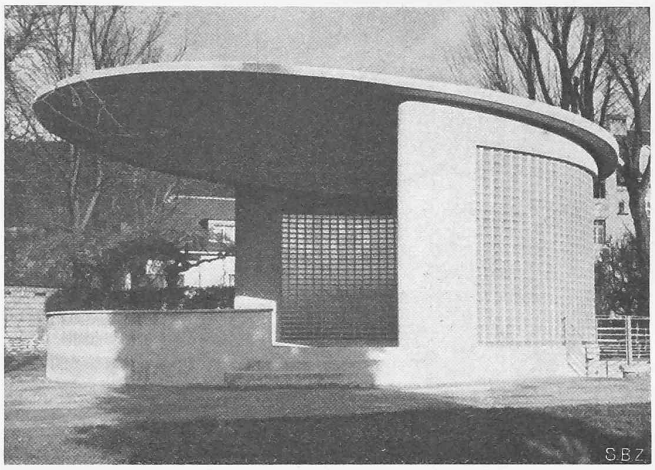


Abb. 5. Musikpavillon in Biel. — Arch. W. SOMMER, Ing. H. MATHIS.

Tabelle 8.

Km.	Sohlenerhöhung für $c = 0{,}03$ gegenüber $c = 0{,}046$
85	0,50 m
80	1,00 m
74	1,30 m
68	1,30 m

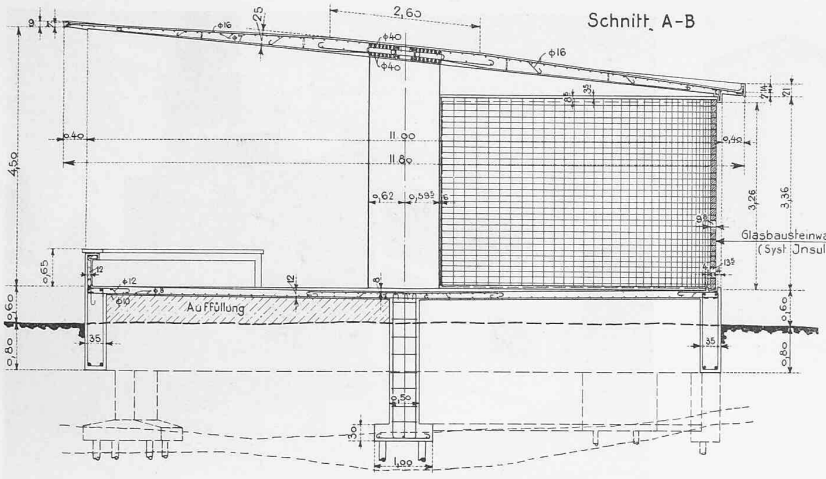
Der Einfluss eines kleinen Abriebkoeffizienten wurde auch für die Frage der dauernden Baggerung untersucht. Die Ueberlegungen sind natürlich ganz analog wie für $c = 0{,}046$. Durch die weniger starke Abnahme der Geschiebefracht und des massgebenden Durchmessers in Funktion der Laufstrecke ergibt sich für ein vorgeschriebenes Längenprofil eine grössere Entnahmemenge je kleiner der Abriebkoeffizient ist. Die Rechnung ergibt, dass die erforderlichen Entnahmen für $c = 0{,}03$ um rund 25 % grösser sind, als jene für $c = 0{,}046$ — ein Unterschied, dem die Baggerung ohne weiteres angepasst werden kann.

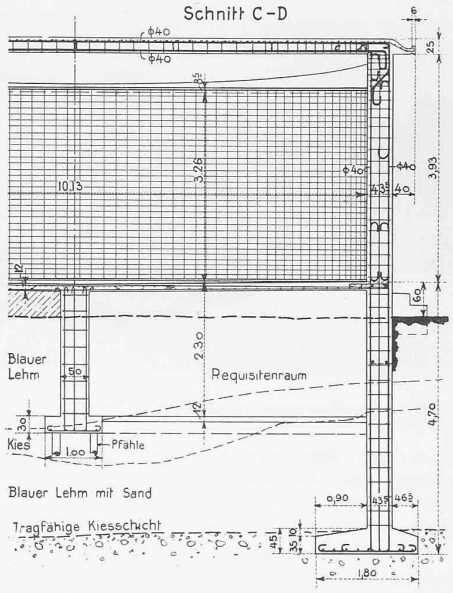
C. SCHLUSSBETRACHTUNGEN.

1. Aus den Modellversuchen muss der Schluss gezogen werden, dass mit der Verbauung des Diepoldsauer Durchstichs allein, ohne entsprechende Massnahmen in den sich ebenfalls verlandenden flussabwärts gelegenen Teilstrecken, nur eine sehr geringe Sohlenabsenkung zu erwarten ist und dass ferner die blosse Wuhrerhöhung, ohne Verengung des Mittelgerinnes, praktisch unwirksam ist. Diese Folgerung wird durch die Berechnung des Gleichgewicht-Längenprofils des Rheins in vollem Umfang bestätigt. Die Tatsache, dass seit Abschluss dieser Berechnungen nicht nur die Zwischenstrecke sich weiter verlandet und sich mehr und mehr dem berechneten Gefälle nähert, sondern auch im Fussacher Durchstich das Fortschreiten der Geschiebewalze und die beginnende Erhöhung des Gefälles eindeutig festliegen, darf als Beweis für die Richtigkeit unserer Voraussage betrachtet werden.

2. Daraus ergibt sich unzweifelhaft die Notwendigkeit, für die Sanierung der Regulierungsstrecke ein *Gesamtprojekt* aufzustellen, in dem das Rheinlängenprofil vom Bodensee bis zur Illmündung ins Auge gefasst wird. Dieses Längenprofil darf nicht willkürlich aufgezeichnet werden, sondern es ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass zwischen dem Abflussregime, der Geschiebezufuhr von oben, dem Normalprofil und dem Längenprofil ein eindeutiger Zusammenhang herrscht, dessen Nichtbeachtung eben die innere Ursache der heutigen Zustände ist. Damit soll nicht etwa ein Vorwurf gegen die seinerzeitigen Projektverfasser erhoben werden, denn beim damaligen Stand der Kenntnisse wäre die Erfassung dieses Zusammenhanges noch unmöglich gewesen. Uebrigens glaubten die Verfasser des Staatsvertragsprojektes damit rechnen zu dürfen, dass die Geschiebezufuhr des Rheins als Folge einer intensiven Wildbachverbauung eine fühlbare Abnahme erfahren würde.

3. Die von der Internat. Rheinregulierungs-Kommission in den Vordergrund gerückte «Variante A» (Jahresbericht 1934 der I. R. K.) stellt ein solches Gesamtprojekt dar mit einer *Verengung* des Fussacher Durchstichs um 40 m, der Zwischenstrecke um 30 m und des Diepoldsauer Durchstichs um 20 m (Abb. 29). Die nach unten zunehmende Verengung ist deshalb gewählt worden, weil in den Gefällen der untern Strecken die grundlegenden Fehler des Ausführungs-Projektes zu suchen sind.





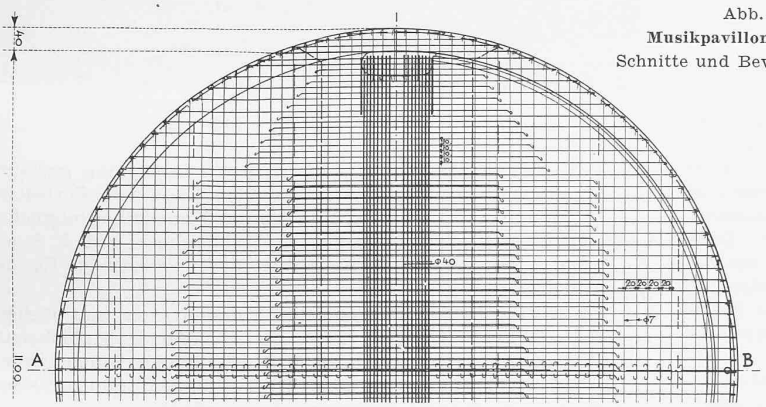
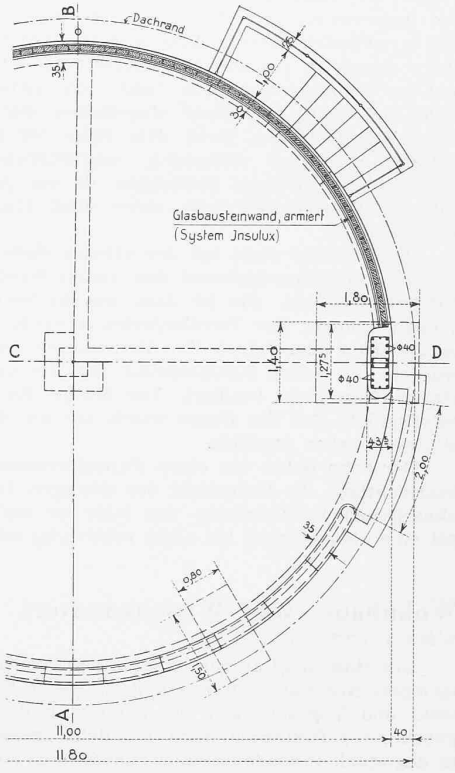


Abb. 1 bis 4.
Musikpavillon in Biel
Schnitte und Bewehrung
1 : 120.



Es wäre aber nicht zweckmässig, mit der Verengung des Fussacher Durchstichs zu beginnen, weil dessen heutige Sohlenlage an sich noch annehmbar ist. Um im *Rahmen dieses Gesamtprojektes* dort einzugreifen, wo im heutigen Zeitpunkt Abhilfe dringend nötig ist, geht deshalb der Vorschlag der I. R. K. dahin, die Zwischenstrecke zu verengen und das für das Vorschieben des linken Wuhrs erforderliche Kiesmaterial dem Diepoldsauer Durchstich zu entnehmen. Hierauf soll dieser eingeengt werden und zuletzt der untere Durchstich. So können die Umbauarbeiten der Regulierungsstrecke auf eine längere Periode verteilt werden.

4. In Anbetracht des hohen Kostenaufwandes, den ein zwar auf eine längere Zeitspanne ausdehnbarer Umbau der Regulierungsstrecke erfordert, ist auch der *Einfluss dauernder Baggerungen* studiert worden. Diese Lösung hat den Vorteil grosser Anpassungsfähigkeit an die Verhältnisse am Rhein. Sie ist im Endergebnis sogar günstiger als die baulichen Massnahmen, weil sie die Erreichung einer tiefer liegenden Sohle gestattet ohne bauliche Veränderungen des Abflussquerschnitts. Sie ist auch wirtschaftlicher und beansprucht im Falle einer Verminderung der Geschiebezufuhr zum Rhein durch Wildbachverbauungen einen mit der Zeit abnehmenden jährlichen Aufwand.

5. Die Wahl der einen oder andern baulichen Variante (blosse Wuhrerhöhung, Hochwuhr, Profilverengung) hängt schliesslich nicht allein von den Kosten der Umbauarbeiten an sich ab, sondern man muss sich die Frage vorlegen, welche Sohlenhöhe vor allem im Diepoldsauer Durchstich noch zugelassen werden darf. Dies sowohl mit Rücksicht auf die angesichts des wenig tragfähigen Untergrundes noch möglichen Dammerhöhungen, als auch im Hinblick auf die Wasserdurchsickerungen und die sich daraus als nötig ergebenden Entwässerungsarbeiten. Die Studien der Versuchsanstalt gestatten, für jede Variante die zukünftige Sohlenlage innerhalb technisch erforderlicher Grenzen genau genug anzugeben.

6. Bei den Berechnungen ist die heutige Mündungsstelle des Rheins in den Bodensee als Fixpunkt behandelt worden. Durch die allmählige Auffüllung der Hard-Fussacher-Bucht wird sich dieser Fixpunkt mit der Zeit seewärts verschieben. Bei einem zukünftigen Gefälle der untersten Rheinstrecke von rund 1 ‰ entspricht eine Verlängerung des Rheinlaufes von 1 km einer Erhöhung der *ganzen Rheinsohle* um 1 m. Ueber die jährlich in die Hard-Fussacher-Bucht hinausgeschleppten Sinkstoffe geben die Deltavermessungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft [9]) Auskunft. Es handelt sich um eine jährliche Ablagerung von rd. 3 Millionen Kubikmeter; davon machen die eigentlichen Geschiebe heute nur etwa 30 000 bis 50 000 m³ aus, je nach dem Charakter des Jahres; bei Erreichung des Gleichgewichtszustandes werden es rund 100 000 m³ sein (Tabelle 2). Während die Sinkstoffbewegung nach heutiger Auffassung die Geschiebebewegung und damit die Sohlenausbildung nicht beeinflusst, spielt sie beim Vorschub der Rheinmündung in den Bodensee eine Hauptrolle. In diesem Sinne muss sich auch ein Zurückhalten von Schlamm im Einzugsgebiet günstig auswirken.

7. Zum Schluss sei erwähnt, dass die in letzter Zeit am Rhein selbst ausgeführten direkten Geschiebemessungen (deren Beschreibung und Auswertung den Gegenstand eines unter Mitwirkung der österreichischen Rheinbauleitung verfassten weiteren Aufsatzes bilden wird) die Ergebnisse der Berechnungen der Versuchsanstalt für Wasserbau in sehr befriedigender Weise bestätigen.

Zürich, im Januar 1937.

[9]) Mitteilungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft Nr. 15 u. Nr. 31.

Ein Musikpavillon in Biel

Pläne und Bauleitung: WALTER SOMMER, Arch., Biel
Eisenbetonberechnungen: HANS MATHIS, Ing., Biel

Dieser neue Pavillon liegt an der Schüss am Nordostrand des Bieler Stadtparks, axial zum Haupteingang gerichtet. Seine Grundfläche ist ein Kreis von 11 m Durchmesser, dessen östlicher Umfang der Beleuchtung wegen nicht mit Beton oder Holz, sondern mit Glasbausteinen Insulux-Vacuum umschlossen wurde.