Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 47 (1955)
Heft: 9-11

Artikel: Wasserfassungen in geschiebeführenden Flüssen
Autor: Müller, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921961

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: 23.08.2025

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

Wasserfassungen in geschiebeführenden Flüssen

Von Prof. Dr. *R. Müller,* ETH, Zürich

EINLEITUNG

Die Wasserfassung ist wohl eines der wichtigsten Bauwerke einer Wasserkraftanlage. Arbeitet die Fassung mit Störungen, so wird sie zum Sorgenkind des Betriebes.

Früher wurde der Ort der Fassung mehr willkürlich, nach der Staukote eines Ausgleichsees oder einer konzessionsbedingten Kote festgelegt. Heute wird möglichst eine Fassungsstelle gewählt, die den Bau einer einwandfrei arbeitenden, geschiebefreien Fassung gewährleistet. Die Fassung kann so allerdings zu einem entscheidenden Faktor für die Anordnung der Gesamtanlage werden. Es soll so sein, denn sie muß nach dem Bau über Jahrzehnte eine regelmäßige Energieproduktion sicherstellen. Jeder Tag, der später infolge Störungen bei der Fassung ausfällt, rechtfertigt eine sorgfältigste Projektierung der Wasserfassung.

Nicht umsonst wurden daher mit der Entwicklung des wasserbaulichen Versuches die Wasserfassungen an geschiebeführenden Bächen und Flüssen mit Hilfe von Modellversuchen eingehend überprüft. Auch die Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH hat so in den vergangenen zwei Jahrzehnten ihren Fassungstyp entwickelt. Einer Anregung des Direktors der Versuchsanstalt, Prof. G. Schnitter, folgend und als Dank an die Praxis, die mit ihren Aufträgen die Entwicklung ermöglichte, sollen im folgenden die Gedanken und Resultate festgehalten werden, die nach unseren Erfahrungen beim Entwurf von Wasserfassungen an geschiebeführenden Flüssen wegleitend sein sollten.

I. DIE FLUSSBAULICHEN BEDINGUNGEN

A. Grundlagen

Unser Alt-Direktor und Gründer der Versuchsanstalt, Prof. Dr. h. c. E. Meyer-Peter, hat immer darauf aufmerksam gemacht, daß mit guten und genügenden Grundlagen jedes Problem grundsätzlich schon gelöst sei. So ist es auch bei der Gestaltung von Wasserfassungen an geschiebeführenden Bächen und Flüssen. Hier bilden möglichst gute Kenntnisse über die Geschiebeführung die wichtigste Grundlage. Weil die Fassung als Fremdkörper in den Flußlauf eingebaut wird, muß dem Fassungsentwurf eine quantitative flußbauliche Beurteilung der Geschiebeverhältnisse vorangehen. Sie ist heute möglich dank der von Prof. Meyer-Peter mit der Gründung der Versuchsanstalt begonnenen Grundlagenforschung über die Geschiebeführung.

Zur Vereinfachung werden im folgenden Bach und Fluß mit «geschiebeführender Fluß» bezeichnet. Unterschieden wird der gesamte Flußlauf und die Fassungsstrecke, in der sich die Fassungsstelle befindet.

1. Flußbauliche Beurteilung des Flußlaufes

Eine Beurteilung erfordert streng genommen periodische Profilaufnahmen, die sich über Jahrzehnte erstrecken sollten, denn die Veränderungen der mittleren Sohlenhöhen bilden die Grundlage einer Klassifizierung. Fehlen solche Messungen, so muß die Erfahrung älterer Anwohner des Gebietes über das Verhalten des Flusses zu Rat gezogen werden.

a) Strecken im Beharrungszustand

Es sind dies die Musterstrecken, die sich über Jahrzehnte nach Sohlenhöhe und Gefälle nicht verändert haben. Es muß dabei streng beachtet werden, daß die Sohle nur aus laufendem Geschiebe besteht, das Flußbett soll in eigener Alluvion liegen. Das Geschiebe bewegt sich in solchen Strecken meist in Form von Kiesbänken.

Beharrungsstrecke heißt, daß das Geschiebetransportvermögen der Strecke gleich ist der Geschiebezufuhr in die Strecke. Es besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der sekundlichen Abflußmenge und der sekundlich transportierten Geschiebemenge, die *Geschiebefunktion* (Fig. 1). Darnach beginnt der Geschiebetransport G bei der Abflußmenge Q_0, im Bereich $Q > Q_0$ wächst mit Q auch der sekundliche Geschiebetransport.

Die Musterstrecke liefert bei gegebener mittlerer jährlicher Dauerkurve der Abflußmengen die mittlere jährlich transportierte Geschiebefracht

$$G_F = \int_{\text{Jahr}} G \cdot dt$$

deren Bestimmung für eine genaue flußbauliche Beurteilung erforderlich ist.

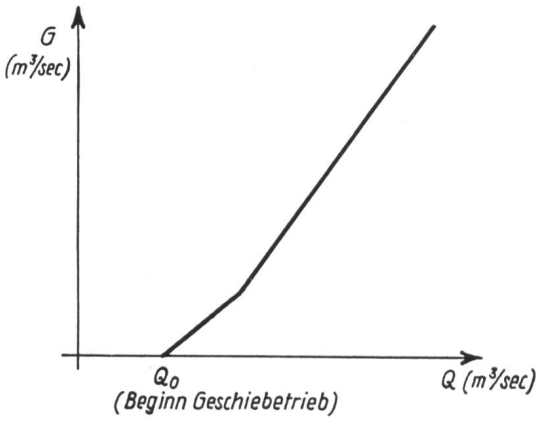


Fig. 1

b) Strecken in Alluvion

Die Beobachtungen zeigen langsame Hebungen der Flußsohle, im Längsprofil wachsendes Gefälle. In solchen Strecken ist das Transportvermögen kleiner als die Geschiebezufuhr, so daß die Differenz in der Strecke selber liegen bleibt. Die Erfahrung der Anwohner wird auf solche Veränderungen hinweisen. Die Alluvion führt auf eine Zunahme der Häufigkeit von Überschwemmungen mit erforderlichen Damm-, Brücken- und Straßenhebungen.

c) Strecken in Erosion

Die Beobachtungen zeigen ein langsames Eintiefen des Gerinnes, im Längsprofil eine Gefällsabnahme. Das Transportvermögen ist größer als die Geschiebezufuhr, das Wasser sättigt sich aus der Sohle, indem die Differenz aus der Sohle entnommen wird.

Die Erosion führt zu Nachschüttungen für Dammsicherungen, zur Gefährdung von Brückenwiderlagern und Querschwellen durch Unterkolken.

d) Strecken in latenter Erosion

Die Erosionsstrecken können durch Anreichern des Groben der Sohlenmischung eine natürlich abgepflästerte Sohle erhalten, so daß trotz Überschuß an Transportvermögen nicht weiter erodiert wird. Die Zufuhr läuft über diese grobe «feste» Sohle ab. Das Wasser möchte sich wohl aus der Sohle sättigen, vermag aber die grobe Sohle nicht anzugreifen. Es ist dies eine Strecke in latenter Erosion.

Typische Strecken dieser Art sind aber vor allem die durch Fels oder grobblockiges, bachfremdes Bergsturzmaterial gebildeten stabilen Steilstrecken, die im Längsprofil die Talstufen mit großen Gefällen liefern. Solche Strecken erscheinen ausgewaschen, es fehlt das laufende Geschiebe oberhalb oder unterhalb liegender Beharrungs- oder Alluvionsstrecken; meist fehlen auch Kiesbänke. Deshalb sind, vor allem zur Bestimmung von Strecken in latenter Erosion, Vergleiche mit verschiedenartigen Nachbarstrecken sehr nützlich. Sie führen schließlich zur allgemeinen Beurteilung eines Flußlaufes.

2. Erforderliche rechnerische Bestimmungen

Die genauere Beurteilung eines Flußlaufes mit Hilfe einer Geschieberechnung ist wohl grundsätzlich möglich. Die Geschiebekontinuität setzt aber gemessene Alluvions- und Erosionsmengen voraus, bei langen Flußläufen auch Messungen über die natürliche Verkleinerung des Geschiebes, den Abrieb.

Für die Beurteilung der Möglichkeit einer Wasserentnahme sollte neben dem Charakter der Fassungsstrecke wenigstens bekannt sein, bei welcher Wassermenge der Geschiebetrieb beginnt, also Q_0. Eine Möglichkeit der direkten Bestimmung dieser Grenzabflußmenge bietet das Abhören an Stahlröhren, die auf den Grund gestellt

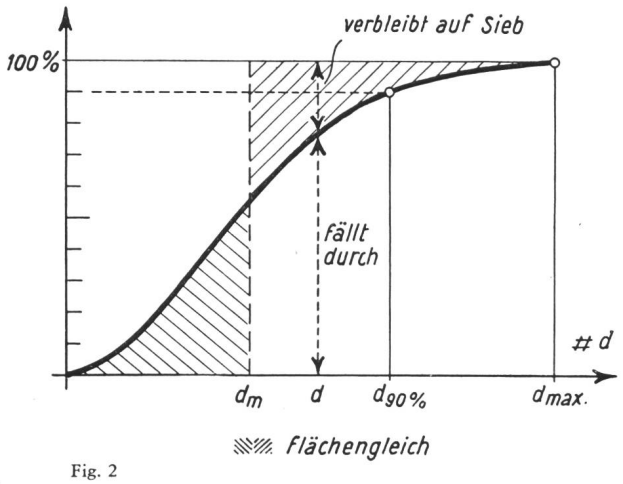


Fig. 2

werden. Das feine Rieseln des Sandes läßt sich vom Anschlagen gröberer Steine unterscheiden. Es gibt aber auch eine rechnerische Methode, nach der Q_0, die Geschiebefunktion und die Geschiebefracht bestimmt werden können. Ist die Fassungsstrecke im Beharrungszustand, so genügt eine Berechnung für die Fassungsstrecke. Ist die Fassungsstrecke dagegen in Erosion oder latenter Erosion, so müssen Q_0 und die Zufuhr aus einer anschließenden Beharrungsstrecke berechnet werden, während die Fassungsstrecke selber das Transportvermögen liefert.

a) Die Abflußmenge, bei der der Geschiebetrieb beginnt

Zur rechnerischen Bestimmung von Q_0 für eine Beharrungsstrecke sind Profilaufnahmen zur Bestimmung des Gefälles und der mittleren Profilform (maßgebendes Profil) mit der mittleren Sohlenbreite B erforderlich. Ferner Wasserspiegel- und dazugehörige Abflußmengenmessungen, also die Abflußmengenkurve zum mittleren Profil, aus der die mittleren Rauhigkeitswerte k_s (Form und Korn enthaltend) und die zu den Abflußmengen gehörenden benetzten Rauhigkeitsumfänge P berechnet werden können. Wichtig ist vor allem auch die Bestimmung der Korngrößen der laufenden Geschiebemischung mit Hilfe abgestufter quadratmaschiger Siebe. Die Proben sollen auf den Kiesbänken nach Entfernen der Oberflächensteine (Deckschicht) entnommen werden, sie sind nach Gewichtsprozentanteil als Sohlenmischungslinien aufzuzeichnen und liefern für jede lichte Siebweite (Korngröße) d den Anteil am Gesamtgemisch, der durch das Sieb durchfällt, also feiner ist und den Anteil, der auf dem Sieb verbleibt, also gröber ist (Fig. 2).

Aus der mittleren Analyse sind wichtig für Rauhigkeitsfragen $d_{90\%}$ und für Transportfragen d_m, das Mittelkorn. Mit diesen Grundlagen kann das Geschiebetriebgesetz 1948 der Versuchsanstalt zur Berechnung angewendet werden. Es liefert für die Tiefe h_0 des Beginns des Transportes die Bedingungsgleichung

$$\gamma \cdot \frac{Q_s}{Q} \cdot \left(\frac{K_s}{K_r}\right)^{3/2} \cdot h_0 \cdot J = 0{,}047\, \gamma_s'' \cdot d_m$$

oder vereinfacht, mit $\frac{Q_s}{Q} = \frac{B}{P}$, $\gamma_s'' = 1{,}68$, $\gamma = 1$

$$\frac{B}{P} \cdot \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2} \cdot h_o \cdot J = 0{,}08\ d_m$$

Es ist zu beachten, daß $\frac{B}{P}$ und k_s nach Profil und Abflußmengenkurve gegebene Funktionen von h sind. Ferner ist definiert der reine Kornrauhigkeitswert

$$k_r = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

d_{90} dm in m
h_o in m
k_s, k_r (Strickler) $m^{1/3}$/sec
P und B in m

Aus diesen Zusammenhängen kann h_o gerechnet werden und die Abflußmengenkurve mit dem mittleren Profil liefert die Abflußmenge Q_o, bei der der Geschiebetrieb beginnt.

b) Geschiebefunktion und Geschiebefracht

Wird in der vorausgesetzten Beharrungsstrecke h_o resp. Q_o überschritten, so findet ein regelmäßiger Geschiebetrieb statt, er beträgt:
pro sec und pro m Breite g''
(unter Wasser gewogen)

Das Überschreiten von h_o und Q_o auf h, Q bedeutet im Geschiebetriebgesetz

$$\gamma \frac{Q_s}{Q} \cdot \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2} \cdot h \cdot J > 0{,}047\ \gamma_s'' \cdot d_m$$

und nach dem Gesetz 1948 geschrieben beträgt in diesem Bereich:

$$0{,}25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \cdot g''^{\,2/3} = \gamma \cdot \frac{Q_s}{Q} \cdot \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2} \cdot h \cdot J - 0{,}047\ \gamma_s'' \cdot d_m$$

oder

$$g'' = 8\left(\frac{g}{\gamma}\right)^{1/2} \left[\gamma \frac{Q_s}{Q} \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2} \cdot h \cdot J - 0{,}047\ \gamma_s'' \cdot d_m\right]^{3/2}$$

Auch hierin kann näherungsweise $\frac{Q_s}{Q} = \frac{B}{P}$ gesetzt werden. g ist die Erdbeschleunigung (9,81 m/sec²), die als dimensionsbehaftete Konstante eingeführt wurde, um das Gesetz dimensionsrichtig zu formulieren (dimensionslose Konstanten 0,047 und 0,25).

Die besprochenen Grundlagen liefern für jede Fülltiefe und damit Abflußmenge Q die Werte von

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{B}{P} \text{ und } \left(\frac{k_s}{k_r}\right)^{3/2}$$

so daß g'' und damit, bei angenähert horizontaler Sohle des mittleren Profils, $G'' = g'' \cdot B$, die Geschiebefunktion $G = f(Q)$, d. h. zu jeder sekundlichen Abflußmenge Q (m^3/sec) der sekundliche Transport G (m^3/sec) gegeben ist.

Für genauere Berechnungen muß als «maßgebendes Profil» die hypsographische Kurve der Sohlenkonfiguration eingeführt werden. Die Sohle wird nicht horizontal sein, sondern eine Form nach Fig. 3 aufweisen, wobei die größeren Tiefen die Kolke, die kleineren die Kiesbankrücken repräsentieren. Bei gegebener Abflußmenge wird nur über einen Teil B' der Profilbreite $h > h_o$ sein, also Geschiebetransport auftreten. Die Berechnung von G'' erfordert in solchen Fällen die Integration über die Breite B' mit variablen Tiefen h, nämlich:

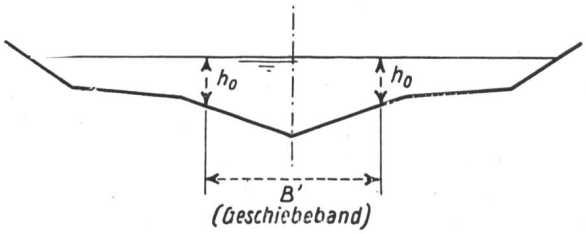


Fig. 3 Maßgebendes Profil

$$G'' = \int_{B'} g'' \cdot dB$$

die graphisch oder analytisch durchgeführt werden kann. Sie liefert die genauere Geschiebefunktion und die Abflußmenge Q_o, für die die Kolktiefen maßgebend werden.

B. Betriebswassermenge und Wehrreglement

Im folgenden wird vorausgesetzt, es sei eine Fassungsstrecke gegeben. Die flußbaulichen Grundlagen, nämlich
der Charakter der Fassungsstrecke,
die Grenzabflußmenge Q_o,
Zufuhr und Transportvermögen
seien bekannt. Es sollen nun die grundsätzlichen Überlegungen gezeigt werden, welche die Möglichkeit des Fassens bedingen. Dabei muß unterschieden werden zwischen der größten sekundlichen Wassermenge Q_A, der Ausbauwassermenge, die gefaßt werden soll und der Betriebswassermenge Q_B, die gefaßt werden kann. Solange die Abflußmenge Q im Fluß kleiner ist als Q_A, kann höchstens mit der Abflußmenge $Q = Q_B$ als Betriebswassermenge gerechnet werden. Ist $Q > Q_A$, so kann höchstens Q_A gefaßt werden. Je nach Charakter der Fassungsstrecke und der Größe der Wassermengen Q_o und Q_A gibt es nun Bedingungen für diese höchstmöglichen Fassungswassermengen Q_B und Q_A.

1. Fassungsstrecke im Beharrungszustand

Als Grundlage sei die Geschiebefunktion nach Fig. 1 gegeben. Der Geschiebetrieb beginnt bei der sekundlichen Abflußmenge Q_o.

a) Die Betriebswassermenge

In Fig. 4 ist die Betriebswassermenge Q_B in Funktion der Abflußmenge Q aufgezeichnet, wobei auch die Grenze Q_o eingezeichnet ist.

Im Bereich $Q < Q_0$, also ohne Geschiebetrieb, kann die ganze Flußwassermenge $Q_B = Q$ gefaßt werden.

Im Bereich $Q > Q_0$ dagegen würde mit der Betriebswassermenge $Q_B = Q$ auch alles laufende Geschiebe gefaßt. In diesem Bereich muß ein Teil der Abflußmenge Q über das Wehr abfließen und dieser Teil muß so groß sein, daß er möglichst alles laufende Geschiebe von der Fassung weg über das Wehr mitführt.

Nach unseren Erfahrungen gelingt die Geschiebeablenkung bei *günstiger Fassungsstelle,* wenn im Bereich $Q > Q_0$

$$\underline{Q_B \leqq \tfrac{1}{2} Q}$$

Es muß somit mindestens die Hälfte der Abflußmenge Q über das Wehr weiterfließen, wenn mit diesem Q_W auch *alles* ankommende Geschiebe über das Wehr abgelenkt werden soll. In Fig. 4 ist also im Bereich $Q > Q_0$ die mögliche Betriebswassermenge durch die Gerade $Q_B = \frac{1}{2} Q$ begrenzt.

Je nach der Größe der Ausbauwassermenge Q_A bedingt so der Geschiebetrieb Restriktionen für die Betriebswassermenge. Im ersten Diagramm der *Fig. 5* mit $Q_A < \frac{1}{2} Q_0$ tritt noch keine Einschränkung ein.

In den beiden andern Diagrammen für $Q_0 > Q_A > \frac{1}{2} Q_0$ resp. $Q_A > Q_0$ muß dagegen im Bereich von

$$Q = Q_0 \text{ bis } Q = 2\,Q_A$$

mit geschiebetechnisch bedingten Restriktionen gerechnet werden.

Nach dieser Erfahrung können bei günstiger Fassungsstelle in geschiebeführenden Flüssen Fassungen für

$$Q_A \ll \tfrac{1}{2} Q_0$$

etwa bis

$$Q_A \leqq \tfrac{1}{3} Q_0$$

ohne geschiebetechnische Schwierigkeiten gebaut werden. Es betrifft dies vor allem Fassungen in Gebirgsbächen, deren Ausbauwassermenge meist nach der Wasserführung im Winter klein gewählt wird.

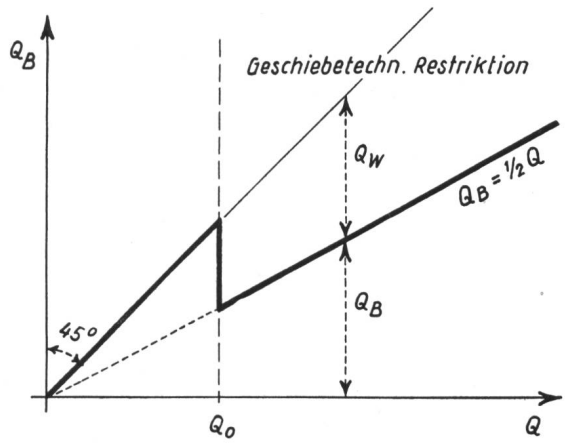


Fig. 4 Q

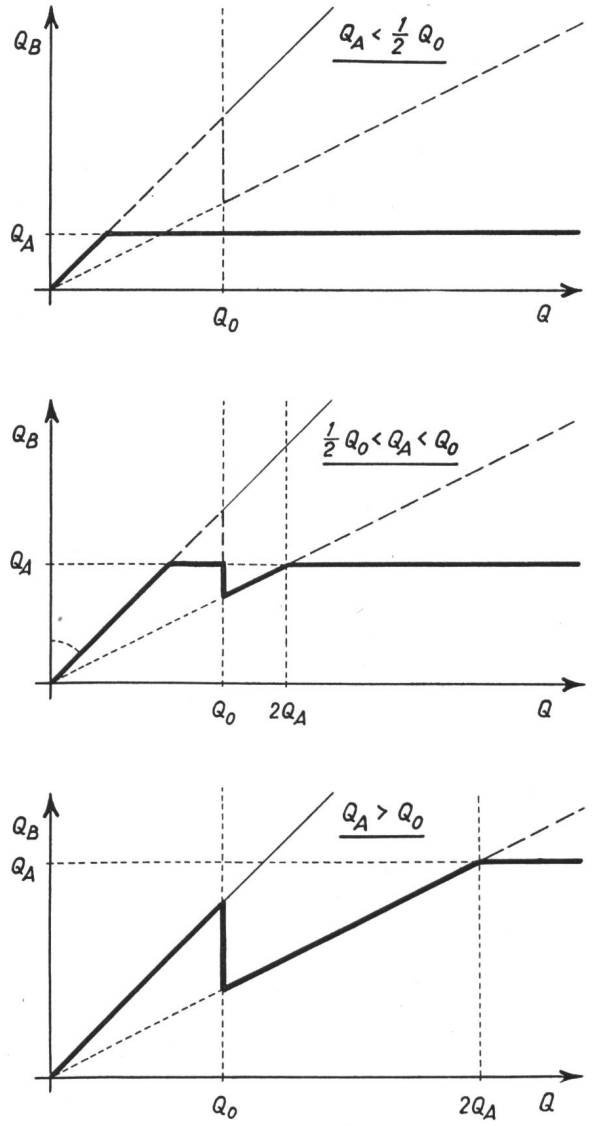


Fig. 5

Fassungen mit $Q_A \geqq \frac{1}{2} Q_0$, vor allem Flußfassungen mit Ausbau auf Sommerbetrieb, müssen dagegen sorgfältig geprüft werden. Im Bereich von $Q = Q_0$ bis $2\,Q_A$ muß auch bei günstiger Fassungsstelle mit Restriktionen gerechnet werden.

b) Das Wehrreglement, keine Flußkorrektionen oberhalb der Fassung.

Soll die Fassung ohne Flußkorrektionen flußaufwärts gebaut werden, so muß grundsätzlich die Bedingung gestellt werden, daß im Bereich $Q > Q_0$ kein Aufstau erfolgt. Die ursprünglichen Abflußverhältnisse dürfen bei den geschiebeführenden Wassermengen nicht geändert werden. Wohl kann im Bereich $Q < Q_0$ (z. B. im Winter) bei der Fassung beliebig hoch gestaut werden, sobald aber Geschiebeführung eintritt, muß bei der Wehrstelle die ursprüngliche Abflußmengenkurve eingehalten werden. Es ist zu beachten, daß jeder Einstau im Bereich $Q > Q_0$ einen Rückstau flußaufwärts und damit Auflandungen oberhalb der Fassung bedingt. Es würde dies

mit der Zeit mindestens eine Parallelhebung der Flußsohle um ein dem Einstau (Fixpunkt) entsprechendes Maß zur Folge haben, also eine bleibende Veränderung des Flußgerinnes. Da die Auflandungen mit dem Groben der Geschiebemischung an der Staugrenze beginnen und von dort flußauf- und -abwärts fortschreiten, kann nicht angenommen werden, die Einhaltung der Abflußbedingung bei Hochwasser genüge, um den Stauraum wieder zu spülen. Die Auflandungen werden bleiben und damit speziell im aufsteigenden Ast die Hochwasserspiegel anspannen. Es mag Verhältnisse geben, in denen eine solche bleibende Störung des Flußregimes möglich ist, im geregelten Flußlauf wird aber eine bleibende Änderung der bestehenden Verhältnisse nicht zulässig sein.

Das charakteristische Wehrreglement der Fassung im geschiebeführenden Fluß im Beharrungszustand ist in Fig. 6 dargestellt. Wenn im Bereich $Q < Q_0$ der Einstau als beliebig möglich bezeichnet wird, so muß immerhin darauf hingewiesen werden, daß an die Zeit für die Stauraumentleerung ($Q \geqq Q_0$) gedacht werden muß und auch an die damit verbundenen Schwälle im Unterwasser und Absenkungen im Staugebiet.

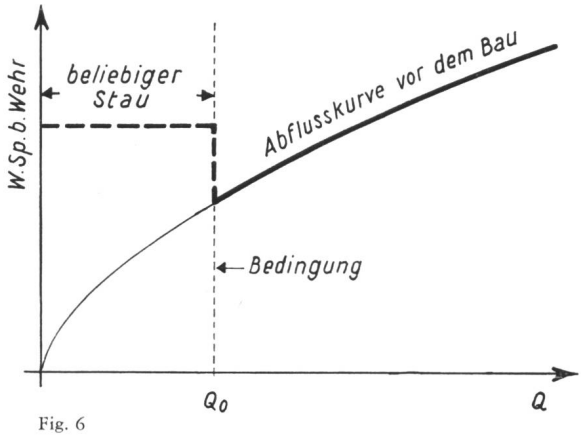


Fig. 6

c) Das Wehrreglement mit Flußkorrektionen im Oberwasser

Ist ein Einstau im Bereich $Q > Q_0$ unvermeidlich, sei es infolge einer erforderlichen Fassungskote oder auch nur um genügende Spülgefälle für die Fassung zu schaffen, so besteht die Möglichkeit, durch eine Flußkorrektion einen neuen Beharrungszustand künstlich zu schaffen.

Es ist zu beachten, daß der angenommene Beharrungszustand der Fassungsstrecke einer vorhandenen Profilbreite entspricht. Wird der Fluß oberhalb der Fassung eingeengt, so kann er mit kleinerem Gefälle das Geschiebe fördern. Es kann somit das ursprüngliche Längsprofil mit Hilfe einer Flußkorrektion in ein neues Beharrungslängsprofil (Fig. 7) geändert werden. Die dadurch mögliche Sohlenhebung bei der Fassungsstelle

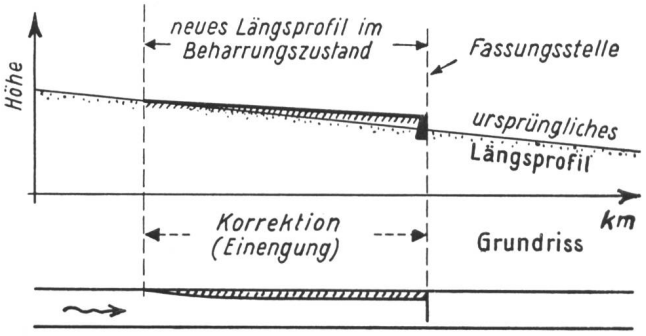


Fig. 7

kann als feste Schwelle ausgebaut werden. Profilbreite und Länge der Korrektion bedingen die Größe des Gefällsgewinnes. Da die Geschiebefunktion des korrigierten Gerinnes mit der ursprünglichen im wesentlichen (Geschiebefracht) übereinstimmen muß, bleibt Q_0 angenähert unverändert. Bei der Fassungsstelle wird dagegen nach Fig. 8 die der Korrektion entsprechende höher liegende Abflußmengenkurve maßgebend. Sie erlaubt entsprechend höhere Fassungsspiegel im Bereich $Q > Q_0$. Die Lösung ist als Beharrungszustand möglich, erfordert aber die meist kostspielige Flußkorrektion.

d) Die Verhältnisse flußabwärts der Fassungsstelle

Es muß darauf hingewiesen werden, daß sich eine Fassung nicht nur flußaufwärts, sondern auch flußabwärts auf das Flußregime auswirkt. Von der Fassung flußabwärts werden bis zur Wasserrückgabe die ursprünglichen Abflußmengen um die Fassungswassermenge Q_B bis Q_A vermindert. Arbeitet die Fassung geschiebefrei, so bleiben anderseits die Geschiebemengen unterhalb der Fassung unverändert. Es muß daher streng genommen von der Fassung bis zur Wasserrückgabe geprüft werden, welche Maßnahmen erforderlich sind, damit auf der gesamten Strecke mit verminderter Wasserführung die ursprüngliche Geschiebefracht abgeführt werden kann. In der Beharrungsstrecke wird eine Verengung unterhalb der Fassung die Regel

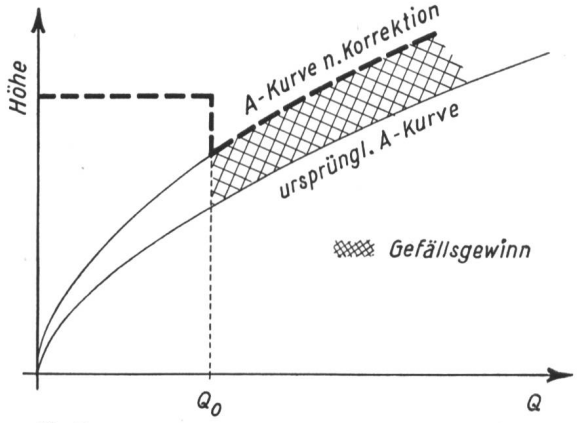


Fig. 8

sein. Sie kann verstärkt werden, um mit Sohlensenkungen unterhalb der Fassungsstelle günstige Spülverhältnisse zu schaffen. So kann mit Korrektionen unterhalb und oberhalb der Fassungsstelle ein Längsprofil nach Fig. 9 im Beharrungszustand gehalten werden, mit Gewinn an Stauhöhe und Spülgefälle. Das Längsprofil setzt allerdings weiter unten eine Steilstrecke in latenter Erosion voraus, die als erwünscht bezeichnet werden muß. Wäre nämlich vor dem Bau der gesamte Flußlauf bis zur Wasserrückgabe und weiter flußabwärts im Beharrungszustand, so müßte sich die Korrektion im Unterwasser bis zur Rückgabe erstrecken.

So sind grundsätzlich die Auswirkungen von Fassungen auf die Flußläufe eingehend zu überprüfen. Je größer die Fassungswassermenge ist, je weiter Fassung und Rückgabe auseinander liegen, umso wichtiger ist die flußbauliche Beurteilung des zukünftigen Zustandes. Diese Forderung ist von besonderer Bedeutung, wenn die Größe der Höchsthochwasser unverändert bleibt.

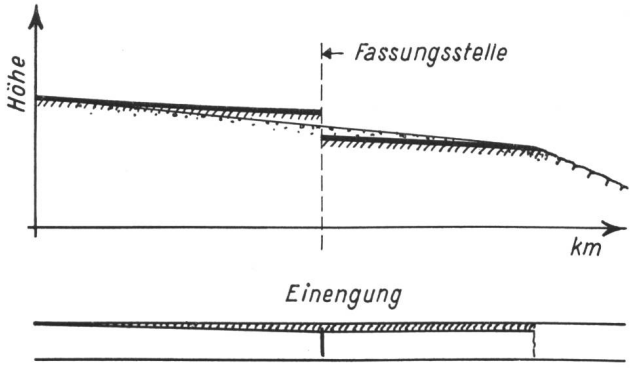


Fig. 9

2. Fassungsstrecke, eine Alluvionsstrecke

Es ist leicht zu erkennen, daß von der Fassung flußauf- und -abwärts die Verhältnisse *ungünstiger* sind als in der Beharrungsstrecke. Würde die Alluvion bei der Anordnung der Fassung nicht berücksichtigt, so müßte mit der Zeit die Fassung vom nächstunteren Sohlenfixpunkt eingekiest werden. Trotzdem kann auch in einer Alluvionsstrecke gefaßt werden, jedoch nur kombiniert mit Flußkorrektionen. Die flußbauliche Projektierung muß auf Grund der zukünftigen Geschiebefracht im Beharrungszustand, also der Zufuhr in die Alluvionsstrecke erfolgen. Verglichen mit der Beharrungsstrecke müssen die Korrektionen stärker sein und längere Strecken erfassen. Fassungen in Alluvionsstrecken eines geregelten Flußlaufes sollten daher vermieden werden.

Das untere Ende einer nicht geregelten wilden Alluvionsebene, vor allem beim Übergang in eine Steilstrecke in latenter Erosion, kann dagegen eine günstige Fassungsstelle sein. Voraussetzung ist, daß die Alluvionsebene als Retentionsgebiet erhalten bleibt, so daß mit dem Geschieberückhalt auch in Zukunft, eventuell noch gefördert durch künstliche Maßnahmen, gerechnet werden kann. Zu den künstlichen Maßnahmen kann in diesem Fall auch der zeitweise Aufstau gerechnet werden, mit dem das Auffüllen der Alluvionsebene günstig beeinflußt werden kann. Voraussetzung für den Bau einer solchen Fassung sind aber geordnete Zuströmungsbedingungen zur Fassung. Sie können geschaffen werden mit einer kurzen steilen Rampe von einer höher angeordneten Schwelle zur Fassung. Solche Zuströmungsrampen werden später näher beschrieben.

3. Fassungsstrecke, eine Erosionsstrecke

Von der Fassung flußauf- und -abwärts sind die Verhältnisse *günstiger* als in der Beharrungsstrecke. Die Fassung bildet einen meist erwünschten neuen Fixpunkt im Gerinne. Flußabwärts wird infolge der reduzierten Wassermenge ohne Korrektion die Erosion vermindert oder aufgehoben und flußaufwärts sind eventuell Rückstauungen ohne Korrektion möglich. Die flußbauliche Projektierung muß auf Grund des Beharrungszustandes für die zukünftige Geschiebefracht, also der Zufuhr in die Erosionsstrecke erfolgen. Auch die Gründungstiefe des Wehres muß der zukünftigen Sohlenlage flußabwärts angepaßt werden.

Flußaufwärts kann auch durch Verbauungen (Sohlenfixierung) künstlich eine latente Erosionsstrecke geschaffen werden, die für die Anordnung der Fassung sehr vorteilhaft sein kann.

4. Fassungsstrecke in latenter Erosion

In den Strecken in latenter Erosion, den Steilstrekken oder Talstufen der Gebirgstäler, in denen die Sohle als «fest» angenommen werden kann, ist das Transportvermögen viel größer als die Geschiebezufuhr, die aus einer Beharrungsstrecke in eigener Alluvion, die unmittelbar ober- oder unterhalb der Steilstrecke anschließt, zu bestimmen ist.

a) Die Betriebswassermenge

Zur flußbaulichen Beurteilung der möglichen Betriebswassermenge ist der tatsächliche Geschiebetransport, also die Geschiebefunktion der anschließenden Beharrungsstrecke maßgebend. Wenn Fig. 1 die Geschiebefunktion dieser Beharrungsstrecke darstellt, so gelten für die mögliche Wasserentnahme in der Steilstrecke die gleichen Bedingungen, wie wenn die Fassung in der Beharrungsstrecke selber gebaut würde, also die Restriktionen nach Fig. 5. Da aber das Transportvermögen jeder Abflußmenge in der Steilstrecke bedeutend größer ist (Fig. 10), hält jede über die Steilstrecke abfließende Wassermenge das Flußbett geschiebefrei, so daß bei Niederwasser nur kleine Bankresten an geschützten Stellen sichtbar sind.

Es ist möglich, daß in diesem Fall des nicht mit Geschiebe gesättigten Abflusses die Restriktionen nach

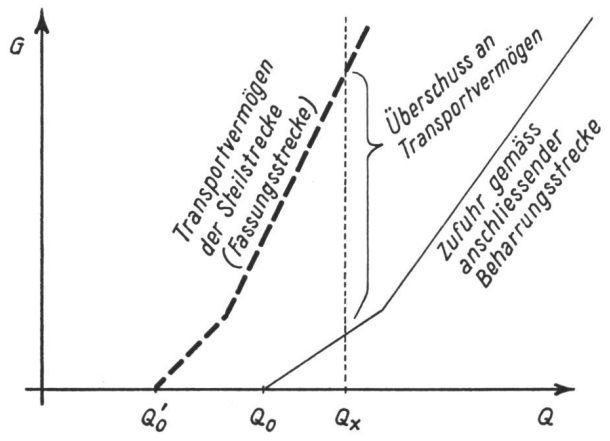


Fig. 10

Fig. 5 (mit Q_0 der Beharrungsstrecke) auf die Steilstrecke angewendet eine erhöhte Sicherheit enthalten. Wird im Bereich $Q > Q_0$ *ohne Stau* gefaßt nach Fig. 6 (mit der Abflußmengenkurve der Steilstrecke), so muß in den Grenzfällen $Q_A > \frac{1}{2} Q_0$ trotzdem mit den Restriktionen gemäß Fig. 5 gerechnet werden. *Mit Stau* im Bereich $Q > Q_0$ dagegen ist es in der latenten Erosionsstrecke möglich, auch in den Fällen $Q_A > \frac{1}{2} Q_0$ mit reduzierten Restriktionen den Betrieb durchzuführen, indem eine periodische Retention im Stauraum in Kauf genommen werden kann.

b) Das Wehrreglement

Wird im Bereich $Q > Q_0$ ohne Stau gefaßt, so gilt grundsätzlich auch für die Fassung in der Steilstrecke das Wehrreglement Fig. 6 mit Q_0 der anschließenden Beharrungsstrecke und der Abflußmengenkurve der Steilstrecke. Trotzdem bietet auch in diesem Fall die Fassung in der Steilstrecke Vorteile. Ist nicht genügend Spülgefälle vorhanden, so kann ohne große Korrektionen im Oberwasser die Wehrschwelle über der vorhandenen Sohle angeordnet werden. Auch Korrektionen flußabwärts der Fassung, in der Steilstrecke, werden nicht erforderlich sein, weil auch die um Q_B reduzierte Abflußmenge noch Erosionstendenz aufweisen wird.

Der Hauptvorteil einer Fassung in der latenten Erosionsstrecke besteht aber darin, daß *unter Umständen* auch im Bereich $Q > Q_0$ gemäß Fig. 11 (Diagramm 1) bis Q_x der Stau ohne besondere Maßnahmen beibehalten werden kann. Es hat dies wohl vorübergehend Auflandungen im Stauraum im Bereich der Abflußmengen $Q = Q_0$ bis Q_x zur Folge; wegen des Überschusses an Transportvermögen kann aber im Bereich $Q > Q_x$, im Gegensatz zur Fassung in der Beharrungsstrecke, damit gerechnet werden, daß die Auflandungen wieder abgespült werden. Mit dem Einstau der Abflußmengen im Bereich Q_0 bis Q_x werden aber auch die Restriktionen für die Betriebswassermenge (Fig. 5) abgeschwächt, indem grundsätzlich von Q_0 bis Q_x, unter Einstau, die steigende Flußwassermenge voll genützt werden kann (Fig. 11, Diagramm 2). Erst ab $Q \geqq Q_x$ muß die Bedingung $Q_B = \frac{1}{2} Q$ eingehalten werden. Je nach der Ausbauwassermenge Q_A schwächt so der mögliche Einstau von Q_0 bis Q_x die Betriebsrestriktionen ab. Das dritte Diagramm in Fig. 11 zeigt einen Normalfall, Fig. 12 den möglichen speziellen Fall, in dem der Stau auf die Normalabflußhöhe von $Q = 2\,Q_A$ gewählt wird und unter der Voraussetzung

$$Q_x = 2\,Q_A$$

In diesem Fall arbeitet die Fassung ohne Restriktionen unter konstantem Stau im Bereich $Q < Q_x = 2\,Q_A$.

So kann das überschüssige Transportvermögen zu einer größeren Ausbauwassermenge mit konstanterem Betrieb ausgenützt werden. Nur die Fassung in der latenten Erosionsstrecke bietet diese Möglichkeit. Die latente Erosionsstrecke kann deshalb als günstigste Strecke für die Anordnung einer geschiebefreien Fassung bezeichnet werden. Vor allem in den Gebirgsflüssen,

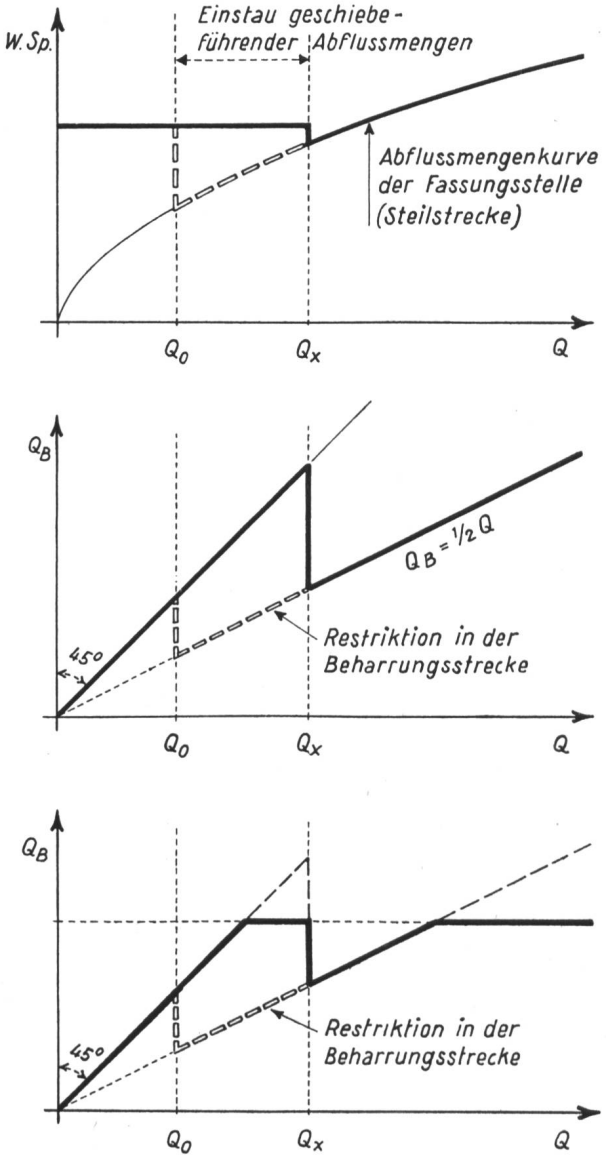


Fig. 11

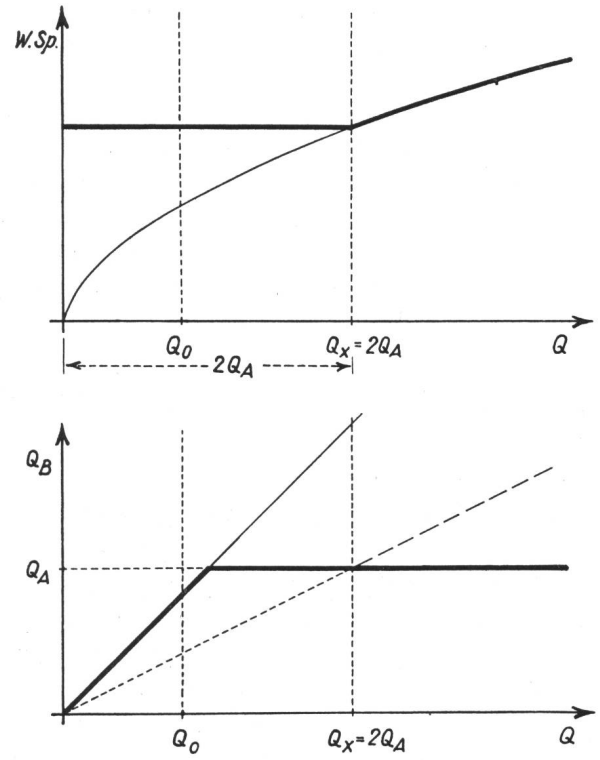


Fig. 12

mit relativ großer Ausbauwassermenge, sind die Steilstrecken, wie sie durch das grobe Geschiebe seitlicher Zuflüsse gebildet werden, solch günstige Fassungsstrecken.

Beliebig weit darf allerdings auch diese Nutzung nicht getrieben werden. Bei gegebenen Wassermengen Q_0 und Q_A muß rechnerisch nachgewiesen werden, daß möglichst bei *normalen Abflußverhältnissen* das überschüssige Transportvermögen der Steilstrecke im Bereich $Q > Q_x$ ausreicht, um die im Bereich von Q_0 bis Q_x abgelagerten Geschiebemengen mit dem laufenden Geschiebe zusammen wieder abzuspülen. Diese Geschiebebilanz wird die mögliche Größe der Abflußmenge Q_x ergeben und mit der Ausbauwassermenge Q_A zusammen das Betriebswasserdiagramm (Fig. 11). Je steiler die Fassungsstrecke ist, umso größer wird Q_x sein. Anderseits ist ein genügend großer und günstig geformter Stauraum Bedingung, denn er muß die periodischen Auflandungen ohne Störung des Flußregimes aufnehmen können. Durch Anpassungen der Ufer, auch durch den Einbau eines regelmäßigen Sohlengerinnes, kann die Spülwirkung aber auch künstlich gefördert werden.

Es bleibt vor allem die Bedingung, daß die *normalen Abflußverhältnisse* das überschüssige Transportvermögen aufweisen sollten. Es soll damit ausgedrückt werden, daß nicht die seltenen Hochwasser in die Geschiebebilanz einbezogen werden dürfen. Tägliche Schwankungen der Abflußmengen, wie sie die Schmelzwasser im Sommer bedingen, sollten genügen. In den Übergangsmonaten dürften auch so noch künstliche Spülungen bei abgestelltem Betrieb erforderlich sein. Die Ausbauwassermenge kann also nicht übertrieben hoch gewählt werden.

Trotz dieser Einschränkung kann die latente Erosionsstrecke als günstigste Fassungsstrecke bezeichnet werden. Beim Fassen unter Stau im Bereich der Abflußmengen Q_0 bis Q_x werden die Sandfänge entlastet, indem im Stauraum auch ein großer Teil der Suspension abgelagert wird. Allerdings wird die Suspensionsmenge in den «Spülzeiten» $Q > Q_x$ größer sein und bei Hochwasser unverändert die Sandfänge belasten. Nur der Betrieb mit Einstau aller Abflußmengen kann den Bau von Sandfängen erübrigen. Sofern periodische Spülungen bei abgestelltem Betrieb möglich sind, ist auch diese äußerste Nutzung in der latenten Erosionsstrecke denkbar. Bei großen Mengen zeitweiser Geschieberetention muß aber der Auswirkung der Geschiebestöße im Bereich $Q > Q_x$ flußabwärts besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Nur wenn sich unten Alluvionsebenen befinden, ist eine natürliche Lösung gegeben.

C. Wahl der Fassungsstelle und Grundsätzliches über Fassung und Wehr

Die Wahl einer möglichst günstigen Fassungsstelle ist *Voraussetzung* für Fassungsstrecken im Beharrungszustand mit $Q_A \geqq \frac{1}{2} Q_0$, also bei Fassungen, die mit Restriktionen arbeiten; ferner in der latenten Erosionsstrecke, wenn die Ausbauwassermenge hoch ist, so daß im Bereich $Q \geqq Q_x$ mit der Grenzbedingung $Q_B = \frac{1}{2} Q$ gerechnet wird. Aber auch für die einfacheren Fassungen, mit $Q_A \leqq \frac{1}{3} Q_0$, wird die Wahl einer günstigen Stelle den Betrieb erleichtern. Es sollte daher ganz allgemein in den geschiebeführenden Flüssen, nachdem die Fassungsstrecke gewählt oder vorgeschrieben ist, die eigentliche Fassungsstelle nur nach günstigster Fassungsmöglichkeit bestimmt werden.

Ist eine Fassungskote vorgeschrieben, so muß in der Fassungsstrecke von dieser Höhe als Sohlenkote flußaufwärts die günstigste Stelle gesucht werden. Ist sie flußaufwärts gegeben, so kann eine Lösung mit Flußkorrektionen etwas fehlende Höhe überbrücken. Besteht nur eine günstige Stelle, so wird zu prüfen sein, ob nicht die Fassungskote nach dieser Stelle festgelegt werden sollte. Die Vorteile eines gesicherten Betriebes können kleine Gefällseinbußen oder Mehrkosten für längere Stollen oder Kanäle aufwiegen.

1. Fassung in der Krümmung, günstigste Stelle

Es ist bekannt, daß die Außenseite einer Flußkrümmung die günstigste Stelle für die Anordnung einer geschiebefreien Fassung ist. Flußkrümmungen müssen daher ausgenützt werden, auch wenn deren Innenseite auf der Fassungsseite liegt. Das Wasser muß in diesem Fall auf der Außenseite gefaßt werden und mit Hilfe eines

Dückers durch den Wehrkörper oder weiter flußabwärts über einen Aquädukt auf die Kanal- oder Stollenseite übergeführt werden. Das Grundrißschema einer solchen idealen Fassung mit Einlauf, Trennpfeiler und Wehr ist in Fig. 13 gegeben. Die Axe des Einlaufes soll angenähert als Fortsetzung der Axe des Zulaufstromstriches gewählt werden. Auf die querstehende Einlauföffnung soll möglichst alles Wasser zuströmen. An der Innenseite der Krümmung soll sich oberhalb des Wehres die natürliche Kiesbank noch anlegen können. Sie fördert die Zuströmung zur Fassung und kann durch Buhnen fixiert werden.

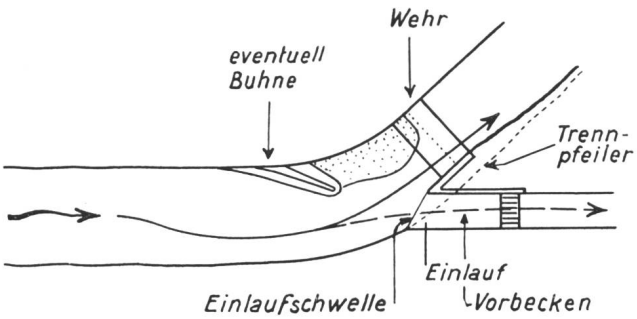


Fig. 13

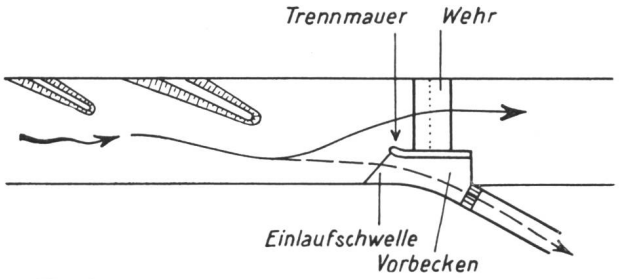


Fig. 14

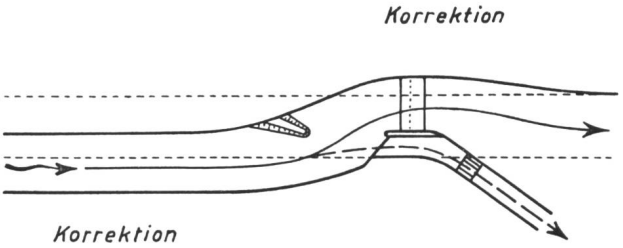


Fig. 15

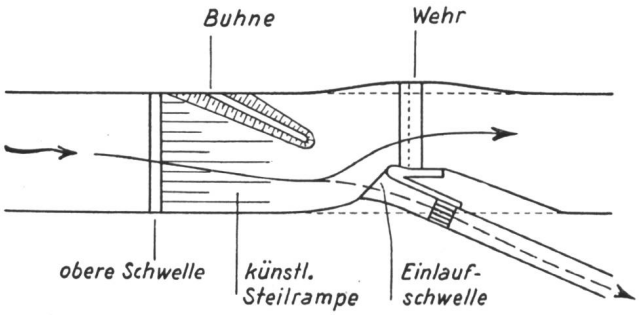


Fig. 16

Ideal ist eine Krümmung von über 30°, in der sich im bestehenden Zustand an der Außenseite dauernd ein Kolk, an der Innenseite eine Kiesbank befindet. Bei kleinem Krümmungsradius und knieförmiger Krümmung ist die Einlaufstelle nach Fig. 13 gegeben. In der schlanken Krümmung mit großem Radius muß der Einlauf flußabwärts zwischen Mitte und Ende der Krümmung, an die Stelle der maximalen Spiegelüberhöhung verschoben werden, um den natürlichen Krümmungseffekt voll auszunützen.

2. Fassung in der Geraden

Fehlt eine Krümmung in der Fassungsstrecke, muß also in der Geraden gefaßt werden, so ist die eigentliche Fassungsstelle wohl frei wählbar, die Anordnung einer geschiebefreien Fassung aber bedeutend erschwert. Ausnahmsweise kann es in der geraden Flußstrecke Stellen geben, die für die Anordnung einer Fassung noch günstig sind. Ein vorspringender Felsriegel, an dem der Stromstrich dauernd anliegt, auch das Gegenufer bei der Mündung eines großen seitlichen Zuflusses, dessen Wasser- und Geschiebeführung den Stromstrich an das Ufer drücken, sind solche Stellen. Auch leichte Krümmungen, die noch künstlich verstärkt werden können, müssen gewählt werden.

Fig. 14 zeigt das Grundrißschema der Fassungsanordnung in der Geraden. Einlauf und Vorbecken müssen in das Gerinne vorspringen und bilden einen flußabwärts geschlossenen Behälter, in den nur das Betriebswasser einfließen soll. Diese einfache Form kann genügen, wenn $Q_A \leqq (\frac{1}{4} \div \frac{1}{3})\, Q_0$ und wenn mit Buhnen der Stromstrich möglichst auf die Fassungsseite gelenkt wird, also mit Hilfe eines künstlichen Krümmungseffektes. Handelt es sich um einen Fluß mit strengen Hochwasserbedingungen, so wird der ungestaute Abfluß der Höchsthochwasser, allein infolge des Vorbaues der Fassung in den Stromstrich, Korrektionen im Oberwasser und Verbreiterungen beim Wehr bedingen (Fig. 15). Die künstliche Krümmung kann so noch verstärkt werden, so daß die Fassung bis $Q_A \leqq \frac{1}{2} Q_0$ geschiebefrei bleibt. Die Flußverschiebung im Oberwasser auf die Seite der Fassung muß über eine große Länge erfolgen und Buhnen müssen den Stromstrich in das neue Bett auf die Fassungsseite zwingen. Breite und Höhe des korrigierten Gerinnes müssen nach dem geschiebetechnischen Beharrungszustand dimensioniert werden.

Müssen Gebirgsbäche in der Geraden gefaßt werden, so kann der Bau einer Fassung mit künstlicher Krümmung und Wasserzuleitung zum Einlauf als universelle Lösung bezeichnet werden (Fig. 16). Eine obere Schwelle vermindert durch Retention den abflauenden Transport bei sehr kleinen Abflußmengen, die steile feste Rampe

von der oberen Schwelle zum Einlauf wirkt als kurze Strecke in latenter Erosion. Dieser Typ setzt allerdings eine größere Freiheit in der Beeinflussung der Sohle flußaufwärts voraus, wie sie in den Gebirgsbächen, vor allem in den Strecken in latenter Erosion meist gegeben ist. Grundsätzlich ist die Lösung aber auch in der Beharrungsstrecke möglich, wenn durch Flußkorrektionen die durch die Fassung hervorgerufene Störung kompensiert wird.

3. Die Ablenkwirkung der Krümmung, Einlauf und Vorbecken

Die skizzierten Fassungen nützen das durch die Spiegelüberhöhung in der Krümmung erzeugte Quergefälle aus. Das Quergefälle bewirkt vor allem eine Ablenkung der Grundströmung gegen die Innenseite der Krümmung und das auf der Sohle laufende Geschiebe folgt der Grundströmung. Je größer die auf den Einlauf zuströmende Abflußmenge im Vergleich zur gefaßten Wassermenge ist, umso größer ist die Wassermenge, welche vor der Fassung quer zum Wehr abströmen muß. Es bildet sich vor dem Einlauf ein Staupunkt mit der bei Pfeilern bekannten Kolkbildung. Das ankommende Geschiebe wandert auf der oberen Krete der Kolkböschung vor dem Einlauf quer ab zum Wehr (Fig. 17).

Je weniger Wasser also das Vorbecken durchströmt (Q_B), umso besser ist die Ablenkung. Vorbecken und Trennmauer müssen daher auf Höchsthochwasser hochgeführt werden und es soll möglichst kein Wasser durch das Vorbecken in den Fluß abfließen, ausgenommen geringe Spülwassermengen. Da die Ausbauwassermenge Q_A immer bedeutend kleiner ist als die Hoch- und Mittelwasser, sind bei diesen Abflußmengen Kolkbildung und Ablenkwirkung außerordentlich stark. Daher kann bei den skizzierten Fassungen vor allem im Bereich starker Geschiebeführung vollkommen geschiebefreies Wasser gefaßt werden. Die Buhnen im Oberwasser dürfen bei Hochwasser überflutet werden und die Spülschütze des Vorbeckens kann teilweise geöffnet werden. Bei den kleineren Abflußmengen, die noch Geschiebe führen, ist dagegen der Stau abgeschwächt, Kolkbildung und Ablenkwirkung sind geringer. Deshalb ist für die Anordnung solcher Fassungen der Bereich der Abflußmengen um Q_0 des Beginns der Geschiebeführung maßgebend. Die Buhnen dürfen von diesen Abflußmengen nicht überflutet werden, die Spülschütze muß geschlossen bleiben. Ist Q_A bedeutend kleiner als $\frac{1}{2}\,Q_0$, so sind auch die

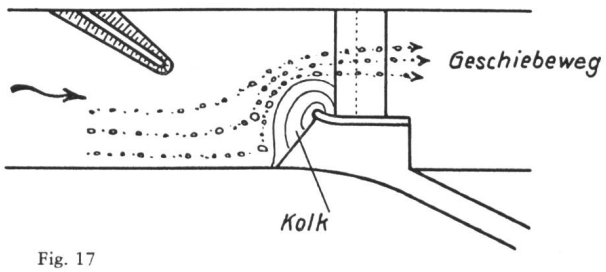


Fig. 17

Wassermengen um Q_0 nicht zu fürchten, wenn nach den skizzierten Anordnungen der gesamte Zufluß möglichst auf den Einlauf gerichtet wird. Für $Q_A \geqq \frac{1}{2}\,Q_0$ bedeuten dagegen, für die skizzierten Fassungen, die beschriebenen Betriebsrestriktionen die äußerste Grenze für genügende Ablenkwirkung.

Im Vorbecken zwischen Trennmauer und Fassungsufer steht der Wasserspiegel auf der Höhe des Staupunktes. Im Vorbecken soll sich vor allem das suspendiert eingeschwemmte, grobe Geschiebe ablagern. Die Sohle des Vorbeckens muß daher als Spülrinne geformt werden mit mindestens 3%, besser 5 bis 10% Gefälle, denn die bei Niederwasser durchzuführenden Spülungen sollen nur kurze Betriebsunterbrüche bedingen. Diese Forderung bedingt eine Gefällskonzentration bei der Fassung, die auch für die Sandfangspülung günstig ist. Daher ist die Fassung am oberen Ende oder in einer Strecke latenter Erosion günstig. Oberhalb natürlicher Abstürze kann das Vorbecken auch als siloförmiger Kiesfang mit kontinuierlicher Spülung ausgebildet werden. Fehlt das Spülgefälle, so muß es durch Flußkorrektion künstlich geschaffen werden.

Über der Einlaufschwelle kann eine Tauchwand zur Ablenkung des Geschwemmsels, eventuell auch des Eistriebes angeordnet werden. Sie soll allerdings nur bei Mittel- und Hochwasser eintauchen, damit über die Schwelle keine Beschleunigung des Wassers entsteht. Der Rechen kann im ruhigen Abfluß zwischen Vorbecken und Sandfang angeordnet werden.

Es ist ein Vorteil dieser Fassungen, daß der Talweg im Oberwasser dauernd auf Seite der Fassung liegt, so daß die Niederwasser zum Einlauf fließen. Der Kolk vor dem Einlauf ermöglicht ferner eine tiefliegende Einlaufschwelle, so daß auch im Winter bei Eisbildungen der Einlauf frei bleibt.

4. Das Wehr

a) Festes Wehr

Für die Anordnung des Wehres sind Betriebswasser- und Wehrreglement maßgebend. Vorerst soll die Möglichkeit des Einstaues geschiebeführender Wassermengen in der latenten Erosionsstrecke außer acht gelassen werden.

Normalerweise schreibt das Wehrreglement vor allem vor, daß die Abflußmengen $Q > Q_0$ ungestaut, wie im Zustand vor dem Bau, zum Wehr zufließen müssen. Diese Bedingungen muß das Wehr in erster Linie erfüllen, wobei die jeweils über das Wehr abfließende Wassermenge Q_W aus der Differenz $Q - Q_B$ zu berechnen ist (Fig. 18). Da der Zufluß Q, der die einzuhaltende Abflußmengenkurve vorschreibt, größer ist als die entsprechende um Q_B reduzierte Wassermenge Q_W, läßt sich meist eine passende feste Wehrkrone nach Höhe und Breite finden, die die vorgeschriebene Abflußmengenkurve einzuhalten erlaubt. Für die Geschiebeablenkung günstig sind Wehrkronen,

die leicht geneigt (etwa 1 : 10) vom tiefsten Punkt bei der Trennmauer gegen die Innenseite der Krümmung ansteigen.

Wenn der mit dieser Kronenhöhe für das Fassen der Abflußmengen im Bereich $Q < Q_0$ definierte maximale Stau genügt, so ist eine Lösung mit festem Wehr möglich. Dieser max. Stau im Bereich $Q < Q_0$ hängt natürlich noch ab von der Ausbaugröße. Ist sie klein, verglichen mit Q_0, so fließt schon im Bereich $Q < Q_0$ Wasser über das Wehr, so daß für den niedrigsten Maximalstau $Q = Q_A$ maßgebend wird. Wesentlich ist aber, daß, verglichen mit der ursprünglichen Abflußmengenkurve, im Bereich $Q < Q_0$ jeder Einstau zulässig ist.

Die Lösungen mit festem Wehr sind vor allem in Wildbächen bei Fassungen $Q_A \leqq \frac{1}{2} Q_0$ zweckmäßig. Sie brauchen keine Wehrbedienung und die Betriebswassermenge kann mit Überfällen ferngesteuert werden.

Für Hauptfassungen im Bereich von Bedienungspersonal ist aber, auch wenn ein nur festes Wehr möglich wäre, der Einbau eines beweglichen Wehrteiles neben der Trennwand mit tiefliegender Schwelle für den erleichterten Durchgang des Geschiebes und für Spülungen zweckmäßig.

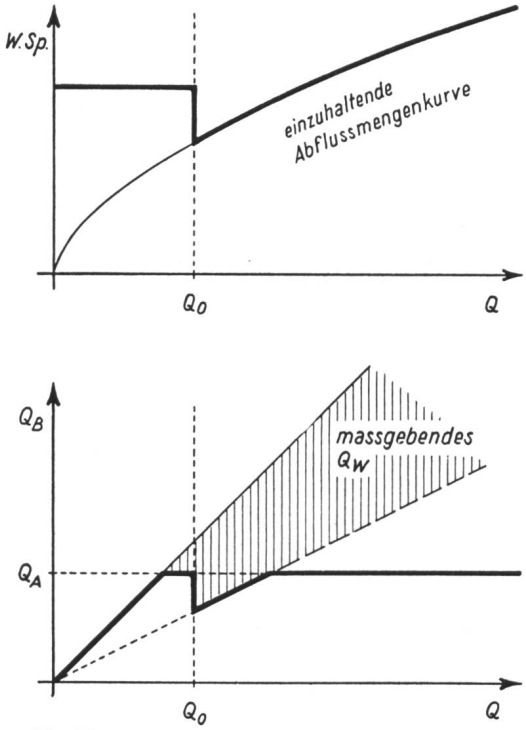


Fig. 18

b) Bewegliche Wehrteile

Ist beabsichtigt, im Bereich $Q < Q_0$ die Möglichkeit des «beliebigen Staues» auszunützen, so wird der Einbau beweglicher Schützen in den Wehrkörper erforderlich sein, um einerseits den gewünschten Stau bei $Q < Q_0$ halten zu können, anderseits durch Öffnen der beweglichen Schützen im Bereich $Q > Q_0$ die Abflußmengenkurve einzuhalten. Sollen nur im Winter die kleinen Zuflüsse aufgestaut werden, so ist als Zwischenlösung das Einsetzen von Stautafeln möglich. Ein beweglicher Wehrteil wird aber vor allem die Regel sein bei den Fassungen in der latenten Erosionsstrecke mit Einstau geschiebeführender Abflußmengen im Bereich Q_0 bis Q_x. Als einfache Lösung für solche Fälle erscheint a priori der Aufbau beweglicher Klappen oder Schützen auf die nach der einzuhaltenden Abflußmengenkurve berechnete feste Krone, die bei Abflußmengen $Q > Q_0$ resp. Q_x entfernt werden. Trotzdem im Bereich $Q > Q_0$ das Geschiebe an sich anstandslos auch über eine hohe feste Wehrkrone abläuft, empfiehlt sich aber für das geschiebefreie Fassen ein anderes Vorgehen. Die Ablenkwirkung ist nämlich umso stärker, je mehr der Wehrdurchfluß direkt neben dem Einlauf bei der Trennmauer erfolgt. Daher wird zweckmäßiger ein fester Wehrkörper gegen die Innenseite der Krümmung bis auf die Höhe des (im Bereich $Q < Q_0$) gewünschten Staues hochgeführt, neben der Trennmauer aber ein bewegliches Organ *in* diesen Wehrkörper eingebaut, der das Einhalten der Abflußmengenkurve im Bereich $Q > Q_0$ resp. Q_x ermöglicht. Die tiefliegende Schwelle dieser Öffnung wird auch eine bessere Spülwirkung vor dem Einlauf erzeugen. Je nach Größe von Q_A und der gewünschten Breite der beweglichen Schütze, können so, ausgehend von der Trennmauer, eine oder mehrere Öffnungen mit beweglichen Schützen erforderlich sein und in den Wehrkörper eingebaut werden. Die Breite der Einzelöffnung sollte bei Regulierung durch Unterströmen nicht zu groß gewählt werden, damit im Bereich um Q_0 genügend Hubhöhe für den Durchgang des Geschiebes entsteht. Eine Klappe, ein Dachwehr oder eine versenkbare Sektorschütze können diesbezüglich vorteilhaft sein. Diese Verschlüsse haben auch den Vorteil keiner die Hochwasserabflüsse hindernden Aufbauten. Im Sinne einer günstigen Geschiebeablenkung sollen im ansteigenden Ast der Abflußmengen zuerst die Öffnung bei der Trennmauer und anschließend die folgenden geöffnet werden, im fallenden Ast wird umgekehrt zuletzt die Öffnung bei der Trennmauer geschlossen. Maßgebend für die Dimensionierung und Regulierung des Wehres bleibt die vorgeschriebene Abflußmengenkurve im Bereich $Q > Q_0$ resp. Q_x im Sonderfall der latenten Erosionsstrecke mit Einstau geschiebeführender Abflußmengen. Es soll noch darauf hingewiesen werden, daß bei der Dimensionierung nicht die Wasserspiegelhöhen der vorgeschriebenen Abflußmengenkurve, sondern die zugehörigen Energiehöhen zu berücksichtigen sind.

c) Die Höhe der Einlaufschwelle bei festem Wehr

Bei den Lösungen mit *festem Wehr* besteht die Regulierung nur in der Beschränkung des gefaßten Wassers

auf das zulässige Q_B resp. auf Q_A, indem zwischen Vorbecken und Sandfang, oder besser am Ende des Sandfanges ein bewegliches Organ eingebaut wird. Letztere Lösung bietet den Vorteil eines ungestörten Zuflusses zum Sandfang. Allerdings arbeitet so der Sandfang mit den Stauspiegeln des Vorbeckens, was hohe Sandfangmauern bedingt. Dies kann aber vermieden werden, indem der Sandfang überdeckt wird, so daß er unter Druck läuft, eine Lösung, die sich im Stollen günstig anordnen läßt.

Die Höhe der Einlaufschwelle muß natürlich tiefer sein als der tiefste Punkt der festen Wehrkrone, denn es muß, je nach Ausbaugröße, im Bereich $Q < Q_o$ teilweise ohne Wehrdurchfluß Q_B bis Q_A gefaßt werden können. Es widerstrebt anfänglich dem Projektierenden, in einem geschiebeführenden Fluß die Einlaufschwelle tiefer als die feste Wehrkrone anzuordnen. Deshalb hat man früher nur unter Stau gefaßt und hohe Einlaufschwellen gebaut, in der Meinung, das Geschiebe abzulenken. Hohe Schwellen erzeugen jedoch große Eintrittsgeschwindigkeiten und fördern dadurch nur das Eintreten von Geschiebe in die Fassung. Das Geschiebe wandert über jede Schwelle, die eine lokale Beschleunigung des Wassers erzeugt, deshalb ist ja auch eine feste *Wehr*schwelle möglich.

Tiefliegende Einlaufschwellen sind bei den skizzierten Fassungen möglich infolge der Kolkbildung vor dem Einlauf. Beliebig tief darf allerdings die Schwelle nicht angeordnet werden, denn sie muß, als Begrenzung der Kolkwanne, einen sekundären Wirbelzopf bilden, der gegen das Wehr abläuft. Es soll hier als Hinweis vorweggenommen werden, daß nach den Versuchen die Schwelle durchschnittlich um $T_E \cong 1{,}2$ m tiefer als die feste Wehrkrone angeordnet werden kann. Meist war es günstig, die Schwelle von der Trennmauer (Tiefe 1,45 m) gegen das Ufer (Tiefe 0,95 m) leicht ansteigend auszubilden. Maßgebend ist allerdings nicht diese Tiefe im Vergleich zur festen Wehrschwelle, sondern die Einlauftiefe T_{E0} beim Abluß von Q_o des Beginns der Geschiebeführung, also ein Abfluß, bei dem schon wenigstens $\frac{1}{2}\,Q_0$ über das Wehr abfließt. Nach den Versuchen liegt die Einlaufschwelle bei der Abflußmenge Q_o durchschnittlich um $T_{E0} \cong 2$ m unter der zugehörigen Wasserspiegelhöhe im Vorbecken, die angenähert der Energiehöhe beim Abfluß von Q_o entspricht. Mit der Schwellenhöhe und den Erfahrungen über die zulässigen Einlaufgeschwindigkeiten, wie sie im Abschnitt II beschrieben werden, ist die Anordnung und die Dimensionierung des Einlaufbauwerkes möglich.

d) Die Höhe der Einlaufschwelle beim Wehr mit beweglichen Öffnungen

Es soll eine Fassung vorausgesetzt werden, bei der ein beweglicher Wehrteil erforderlich ist. Maßgebend für die Höhenlage der Schwelle wird diejenige Abflußmenge, bei der der Stau gesenkt werden muß, also normalerweise Q_o, im speziellen Fall Q_x. Es sind dies die Wassermengen, bei denen die Geschiebeablenkung einsetzen muß und bei denen, nach der vorgeschriebenen Abflußmengenkurve, bei Wehrabflüssen, die mindestens $\frac{1}{2}\,Q$ betragen, bestimmte Wasserspiegel (Energiehöhen) gehalten werden müssen.

Ausgehend von den vorgeschriebenen Energiehöhen bei Q_o resp. Q_x oder genauer den zugehörigen Wasserspiegelhöhen im Vorbecken, kann nach den Versuchen mit festen Wehren die Einlaufschwelle angenähert um $T_{E0} \cong 2$ m tiefer angeordnet werden. Ein Vergleichsmaß kann auch die Berechnung einer mittleren, fest gedachten, aequivalenten Wehrschwelle mit Hilfe der geg. Wehrbreite, der Wassermenge Q_W (beim Abfluß von Q_o resp. Q_x) und der vorgeschriebenen Energiehöhe im Oberwasser liefern, indem die Einlaufschwelle um 1,2 m tiefer angeordnet werden kann als die berechnete mittlere Schwellenhöhe. Die Möglichkeit der Konzentration des Wehrdurchflusses beim Trennpfeiler liefert eine erhöhte Sicherheit für die Ablenkwirkung. Grundsätzlich soll die tiefstmögliche Lage der Einlaufschwelle ausgenützt werden, weil die Erfahrungswerte über die zulässige Größe der Einlaufgeschwindigkeit große Einlaufbreiten bedingen, während schmale Einläufe hochwassertechnisch günstiger sind und zudem den Vorteil haben, daß der Staupunkt nicht über eine große Breite geschiebeablenkend wirken muß. Es dürfte daher zweckmäßig sein, die Einlaufschwelle eher zu tief anzuordnen und sie später, nach den Erfahrungen beim Betrieb, wenn nötig etwas zu erhöhen.

e) Hochwasserbedingung

Bei Höchsthochwasser dürfen Fassung und Wehr keine Störungen im Flußlauf bewirken. Diese Bedingung ist wohl erfüllt bei der vorgeschriebenen Einhaltung der Abflußmengenkurve. Um gegen Überflutungen die nötige Sicherheit zu schaffen, sollten aber zur Bestimmung der erforderlichen Dammhöhen bewegliche Öffnungen wenigstens teilweise als geschlossen (außer Betrieb) vorausgesetzt werden. Bei großen Anlagen kann dies zu einer Reserveöffnung führen, bei kleinen Anlagen mit nur teilweise beweglichem Wehrteil zu einer reichlich dimensionierten Breite des festen Überlaufes. Schließlich kann meist bei Höchsthochwasser auch die Spülschütze des Vorbeckens ohne Geschiebeeintritt geöffnet werden, weil im allgemeinen die Ablenkwirkung sehr stark ist. Während im losen Sohlenmaterial das Wehr mit einem reichlich dimensionierten Tosbecken versehen werden muß, ist es im Wildbachgerinne in gutem Fels oft auch möglich, vorhandene Felsschwellen oder Abstürze mit natürlichem Tosbecken auszunützen.

D. Strömender und schießender Abfluß in der Fassungsstrecke

Im vorstehenden wurde nicht auf diesen möglichen wesentlichen Unterschied der Strömungsart hingewiesen. Rein hydraulisch beurteilt ist vor allem bekannt, daß der Übergang vom schießenden in den strömenden Abfluß eine Unstetigkeit im Wasserspiegel, den Wassersprung bewirkt.

1. Flußbauliche Beurteilung

Flußbaulich betrachtet besteht kein durch die Strömungsart bedingter Unterschied. Beharrungs-, Erosions- und Alluvionsstrecken sind im Gerinne mit schießendem Abfluß genau so möglich wie bei strömendem Abfluß. Auch das Geschiebetriebgesetz ist, beurteilt nach dem Aufbau, sowohl für schießende wie für strömende Abflüsse gültig. Alle Bedingungen, die mit dem Geschiebetrieb zusammenhängen, gelten somit unverändert für beide Strömungsarten. Wenn die bisherigen Betrachtungen für den Normalfall des strömenden Abflusses anerkannt werden, so bleibt noch die Beurteilung der wichtigsten Bedingungen im Fall des schießenden Abflusses.

Es wurde die Bedingung gestellt, daß in der Beharrungsstrecke ohne Flußkorrektion im Bereich mit Geschiebetrieb ($Q > Q_0$) der Abfluß nicht geändert werden darf, er soll also auch nach dem Bau der Fassung unverändert schießend bleiben. Tatsächlich kann in einer gegebenen Beharrungsstrecke beim Übergang vom Schießen in ein durch Stau erzwungenes Strömen die Kontinuität der Geschiebeführung nicht erfüllt werden. Mit der Zunahme der Tiefe h im maßgebenden Produkt $h \cdot J$ nimmt das Gefälle bei gleichbleibendem Gerinne nach Strickler ab, etwa im Verhältnis $\frac{1}{h^3}$.

Das für den Transport maßgebende Produkt h J nimmt also mit zunehmender Tiefe (Aufstau) etwa mit $\frac{1}{h^2}$ ab, daher ganz allgemein die Empfindlichkeit der Geschiebekontinuität auf Staubildungen. Weil nun im schießenden Gerinne ein Aufstau nur mit der Erzeugung eines erzwungenen Strömens möglich ist, nimmt mit dem Aufstau die Tiefe sprunghaft zu und das Transportvermögen entsprechend verstärkt ab. Die gestellte Bedingung kann also beim schießenden Abfluß als noch zwingender bezeichnet werden.

Vielleicht denkt der Leser in diesem Zusammenhang an die vielen Wechsel der Strömungsart, vor allem in den Gebirgsbächen. Alle diese Wechsel sind jedoch bedingt durch Profil- und Gefällsänderungen. Meist sind es auch latente Erosionsstrecken (untersättigt), die in strömende Beharrungsstrecken übergehen können, weil die Zufuhr an Geschiebe gering ist.

Auch die besprochenen Fassungen in Beharrungsstrecken mit Flußkorrektionen sind im Gerinne mit schießendem Abfluß möglich. Es bleibt nur die Bedingung, daß die Geschiebekontinuität erfüllt sein muß. Hier ist sogar der Wechsel vom schießenden Abfluß in den strömenden bedeutungslos. Es kann sehr wohl der Übergang von einem breiten Gerinne mit schießendem Abfluß in ein verengtes Profil mit kleinem Gefälle und strömendem Abfluß die Geschiebekontinuität erfüllen, nur sollte bei loser Sohle die Sprungstelle als Stufe mit Tosbecken fixiert werden.

Beim Einstau einer latenten Erosionsstrecke mit schießendem Abfluß wird das Stauende als Wassersprung gegeben sein. Die Auflandungen im Bereich Q_0 bis Q_x werden wohl die Sprungstelle verschieben, aber grundsätzlich an der besprochenen Fassungsmöglichkeit nichts ändern. Es kann deshalb zusammenfassend festgehalten werden, daß flußbaulich gesehen die Abflußart die Fassungsmöglichkeit nicht beeinflußt.

2. Spezielle Fragen betreffend die Fassung im Gerinne mit schießendem Abfluß

a) Bereich $Q > Q_0$ resp. $Q > Q_x$

Es stellt sich die Frage, ob in diesem Bereich, wenn der Abfluß schießend ist, das Wasser wirklich gefaßt werden kann. Tatsächlich ist es ein großer Vorteil der beschriebenen Fassungstypen, daß sie unempfindlich sind auf die Zuströmungsart. Infolge der Konzentration des schießenden Zuflusses auf den quer stehenden Einlauf mit relativ kleiner Betriebswassermenge, erzeugt der Überschuß an Impuls (Stützkraft) im Vorbecken einen hohen Betriebsspiegel. Es entsteht vor dem Einlauf eine durch den Wassersprung gebildete Wasserwand mit großer geschiebeablenkender Wirkung, so daß das Betriebswasser geschiebefrei gefaßt werden kann. Im Flußbett schießt das Wasser durch die Wasserwand abgelenkt zum Wehr.

Bei diesem Abflußvorgang können allerdings große Blöcke infolge ihrer Bewegungsenergie in die Wasserwand eindringen, liegen bleiben und den Eintritt der folgenden Niederwasser in die Fassung behindern. Bei den Lösungen mit fester Zulauframpe kann aber eine niedere Längsschwelle mit schlanker Linienführung zum Wehr die Bewegungsbahn solcher Einzelblöcke im schießenden Stromstrich fixieren.

b) Bereich $Q < Q_0$ resp. $Q < Q_x$

In diesem Bereich ohne Geschiebetrieb wurde der «beliebige» Aufstau als möglich bezeichnet. Ohne Geschiebetrieb könnte grundsätzlich das schießende Wasser in die Fassung geleitet werden. Infolge der erforderlichen Stauhöhe für den Durchfluß durch den Sandfang wird der Wassersprung jedoch vor den Einlauf wandern, so daß unter Umständen zu viel Wasser über das Wehr abfließt. Um sicher fassen zu können, sollte daher, im Bereich ohne Geschiebetrieb, am Wehr so hoch aufgestaut werden, daß der Wassersprung oberhalb des Einlaufs

liegt. Für den «beliebigen» Aufstau ist also beim schießenden Abfluß in diesem Bereich eine Mindesthöhe vorgeschrieben.

Die beiden Bedingungen, einerseits im Bereich $Q < Q_0$ resp. $Q < Q_x$ Staubildung mit Wassersprung oberhalb des Einlaufs, anderseits der ungehinderte schießende Abfluß im Bereich $Q > Q_0$ resp. $Q > Q_x$, können mit Hilfe eines beweglichen Wehrteiles ohne weiteres erfüllt werden. Es gibt aber, vor allem in der latenten Erosionsstrecke, auch Lösungen mit festem Wehr. Primär muß die Höhe der festen Wehrkrone nach der Wassersprungbedingung berechnet werden. Die Wehrbreite ist anderseits so zu bestimmen, daß im Bereich $Q > Q_0$ resp. $Q > Q_x$ der Sprung nicht mehr oder höchstens noch im Bereich um Q_0 resp. Q_x auftritt. Bei stark untersättigtem Wasser in Steilstrecken, vor allem bei den Fassungen mit festen Zulauframpen mit Verschmälerung des Gerinnes gegen den Einlauf, genügt es, wenn die Mittel- und Hochwasser unverändert schießend abfließen. Bei den Abflußmengen mit Beginn der Geschiebeführung kann

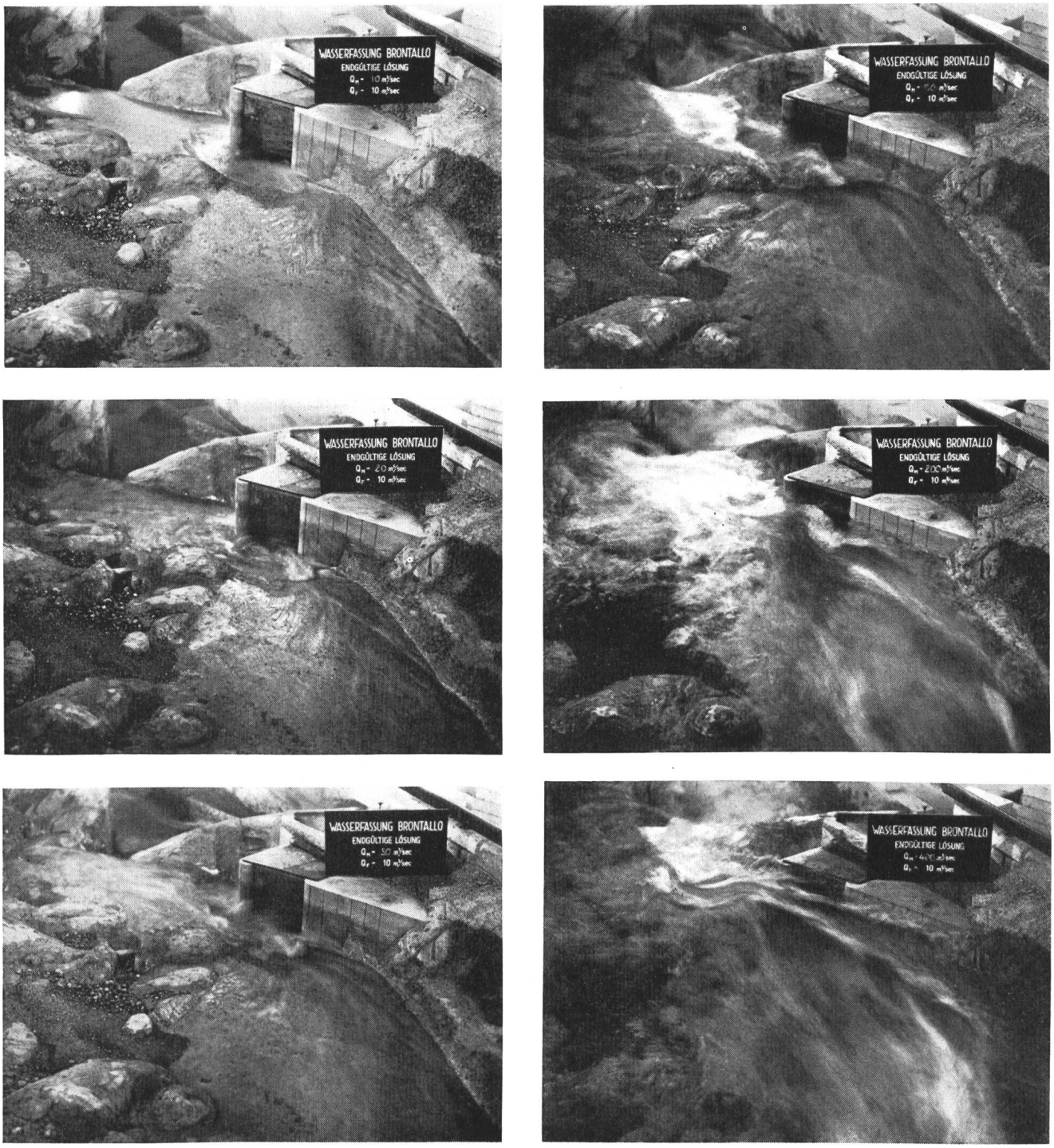


Photo-Bildstreifen 1

im engen Gerinne mit künstlich glatter Sohle auch im strömenden Bereich das Transportvermögen genügen. Besonders bei der universellen Lösung mit oberer Schwelle und künstlicher Rampe kann die Bedingung des ungehinderten schießenden Abflusses auf die Mittel- und Hochwasser beschränkt werden. Es ist interessant festzustellen, daß die Entwicklung der Fassungen auf eine Form geführt hat, die den schießenden Abfluß der großen Abflußmengen als für die Geschiebeablenkung günstig ausnützt.

Der Photo-Bildstreifen 1 der Strömungsaufnahmen für die Fassung Brontallo an der Maggia zeigt die Änderung der Strömungsart mit steigenden Abflußmengen von 10 m^3/sec bis zum Höchsthochwasser von 400 m^3/sec. Diese Fassung wurde durch Einsprengen im Fels geformt. Sie nützt eine vorhandene Felsschwelle mit nachfolgendem Absturz als natürliches, festes Wehr aus. Die Grundrißanordnung ist aus Photo 4 ersichtlich.

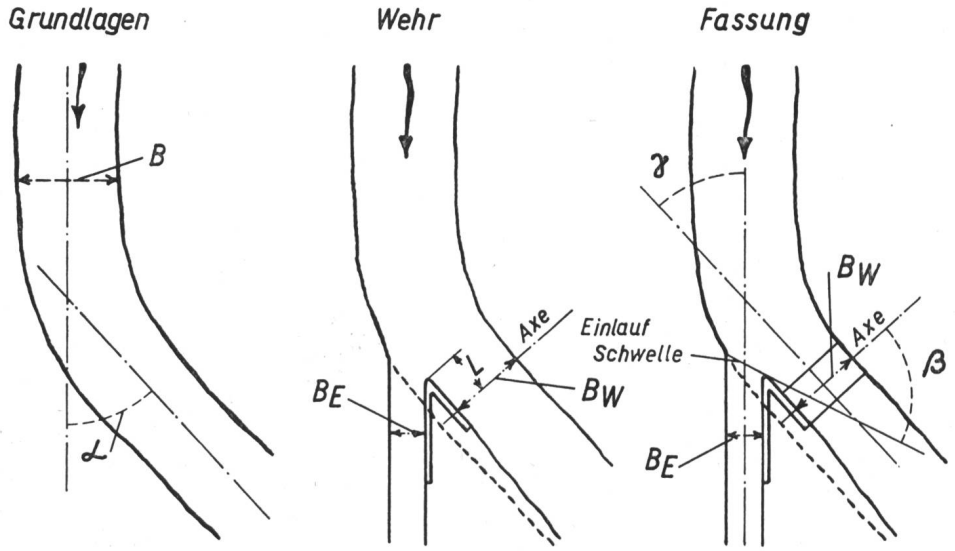
II. IN MODELLEN UNTERSUCHTE FASSUNGEN

Die Hydraulische Abteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der E. T. H. hat mit Hilfe von Modellversuchen eine große Zahl von Wasserfassungen projektiert. Die folgenden Bilder sollen den entwickelten Fassungstyp veranschaulichen und die tabellarischen Zusammenfassungen der wichtigsten Größen können als Grundlage für Fassungsentwürfe dienen. Über die in den Tabellen gewählten Bezeichnungen orientiert Fig. 19 mit der Legende. Es ist zu beachten, daß nur die in eingehenden Versuchsserien entwickelten Endlösungen dargestellt sind, also Fassungen, die praktisch geschiebefrei betrieben werden können.

Die Reihenfolge der Beispiele ist nach dem Charakter der Fassungsstrecke gewählt. Die Fassungen 1 bis 6 befinden sich in latenten Erosionsstrecken, die Fassungen 7 bis 16 in Beharrungsstrecken und die Fassung 17 (Lavey) ist noch ein Spezialfall mit großer Ausbauwassermenge in einer latenten Erosionsstrecke.

A. Fassungen in latenten Erosionsstrecken

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Grundlagen und Resultate der nachstehend kurz beschriebenen Fassungen zusammengestellt. Alle diese Fassungen, in Bächen und Flüssen mit Wildbachcharakter, wurden durch Nachbilden von Hochwasserwellen von 5 bis 15 Stunden Dauer und für stationäre Abflußmengen untersucht. Während der Hochwasser wurden 10 000 bis 12 000 m^3 Geschiebe von der Zusammensetzung des Laufenden als Zufuhr beschickt, auch unter Beigabe vereinzelter großer Einzelblöcke. Die Geschiebezufuhr wurde jeweils so stark gesteigert, bis sich in den nachgebildeten Steilstrecken zeitweise unnatürlich große Alluvionen bildeten. In allen Fällen fand jeweils, bei natürlicher zeitlicher Nachbildung des abfallenden Astes der Hochwasser, das Wasser genügend Zeit, um das Geschiebe im Bereich $Q > 2\,Q_A$ wieder wegzuschaffen. Die Fassungen sind als Beispiele für $Q_A \leqq \frac{1}{2} Q_0$ zu betrachten.



J Gefälle
α (k) künstl. Krümmung

f = Fest
s = schiefe Krone
tb = teilw. Beweglich
b = nur Beweglich

In den nachfolgenden Photos:
Stromstrich und Wehrdurchfluss ——→
Fassungsrichtung - - - - - →

Fig. 19

Tabelle 1: Fassungen in latenten Erosionsstrecken

	Größe		Fassung						Mittel	
	Art 3	Dim. 3	1	2	3	4	5	6	Anzahl	Größe
Grundlagen	Q_{max}	m³/sec	300	400	400	200	350	90		
	Q_A	m³/sec	8	10	15	16	10	9		
	B	m	10	16	30	18	12	20		
	d	m	0 ÷ 0,2	0 ÷ 0,35	0 ÷ 0,4	0 ÷ 2	0 ÷ 4	0 ÷ 0,3		
	α	o	30	45	30	25	40 (k)	50 (k)		
	J	%	5,6	1,5	6	8,5	3	8		
Wehr	B_W	m	11,5 (s)	12,5	28	20	11	10 (s)		
	Art		f	f	f	t • b	f	f		
	Q_{max}/B_W	m³/sec m	26 (Fels)	32 (Fels)	14,3	10	32 (Fels)	9		
Fassung	β	o	50	30	25	60	40	58	6	44
	γ	o	35	45	0	42	40	20	5	36
	B_E	m	5,2	5,5	6	9	6	5,5		
	T_{E0}	m	1,95	2,25	2,25	1,8	2,6	2,1	6	2,15
	F_{E0}	m²	10,1	12,35	13,5	16,2	15,6	11,5		
	v_{E0}	m/sec	0,8	0,81	1,10	0,99	0,64	0,78	{ 6 4	0,85 0,75
	T_E	m	0,95±0,25	1,25±0,5	1,25±0,25	1,3 ± 0,2	1,6 ± 0,6	1,0	6	1,2
	v_E	m/sec	1,61	1,45	2,0	1,37	1,04	1,64	6	1,5
	L	m	8	12,5	8,5	11	5	5		
	B_E/Q_A	sec/m²	0,65	0,55	0,40	0,56	0,6	0,61	6	0.55
	Q_A/T_{E0}	m²/sec	4,1	4,9	6,67	8,9	3,84	4,3		

1. Die untersuchten Fassungen

Die Fassungen 1 und 2 (Photos 2 bis 7) am Isorno und an der Maggia (Brontallo) liegen in Felsstrecken oberhalb natürlicher Abstürze. In beiden Fällen war das Aussprengen kurzer Zulauframpen von 5% resp. 1,5%

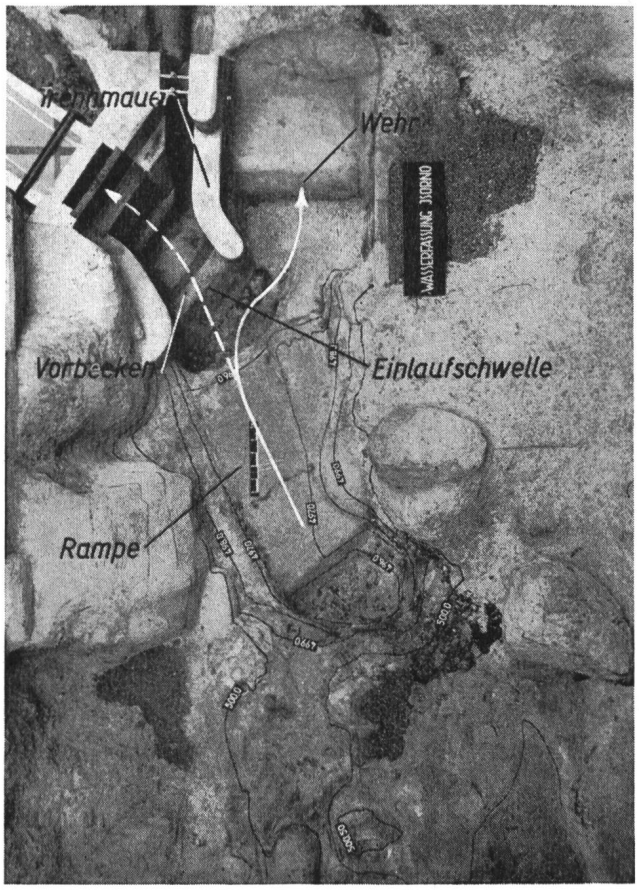


Photo 2

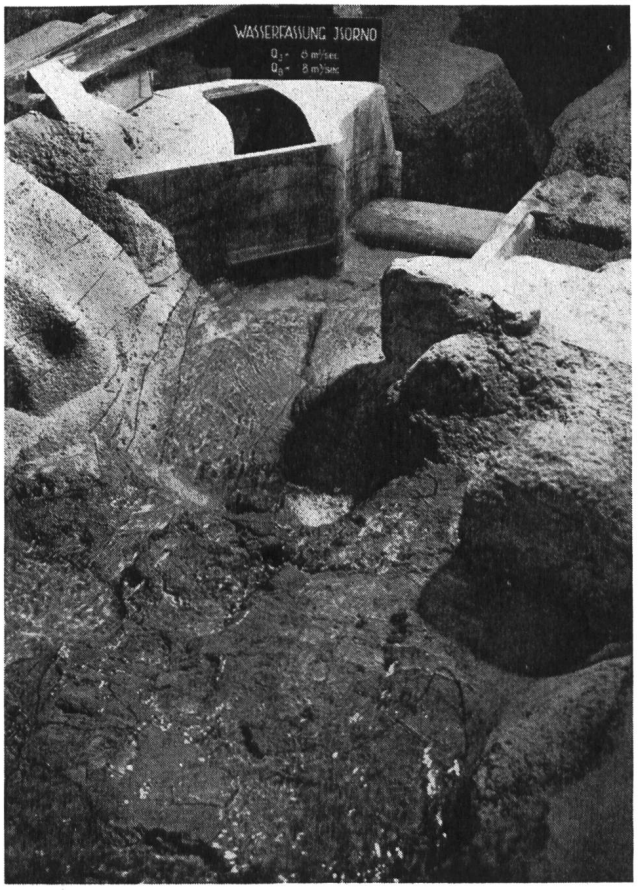


Photo 3

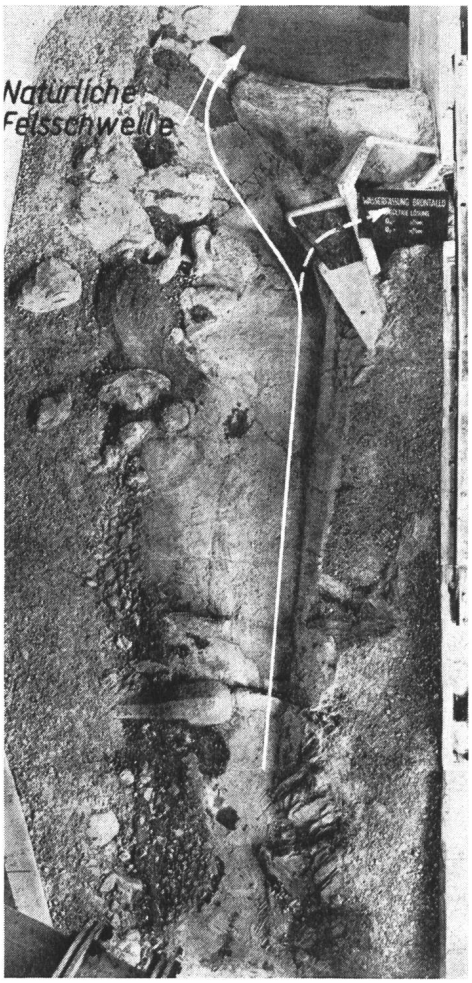


Photo 4

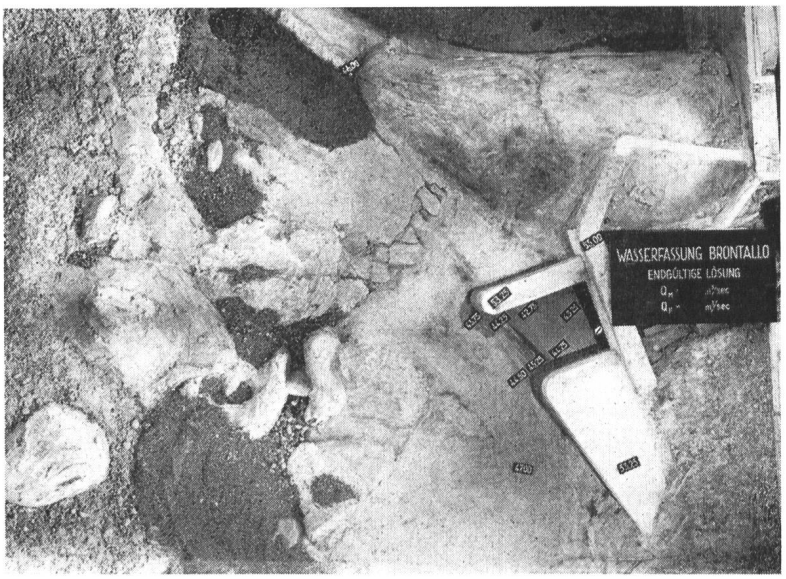


Photo 5

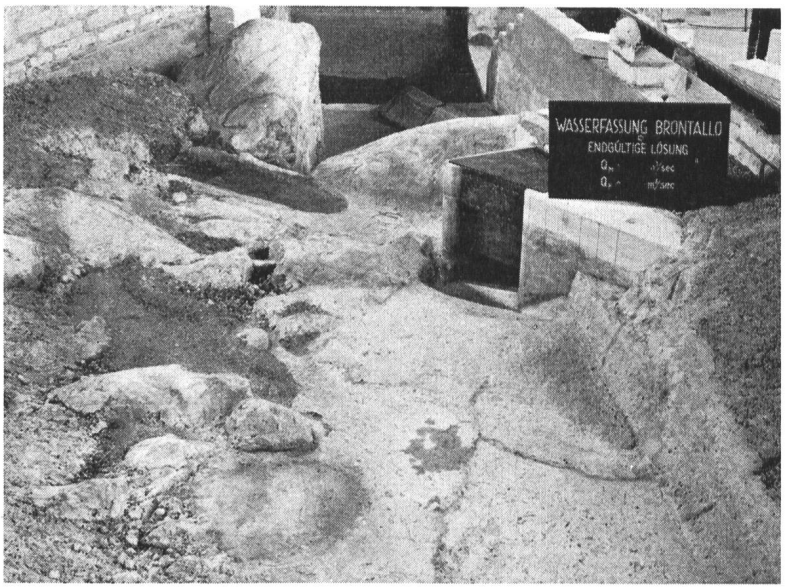
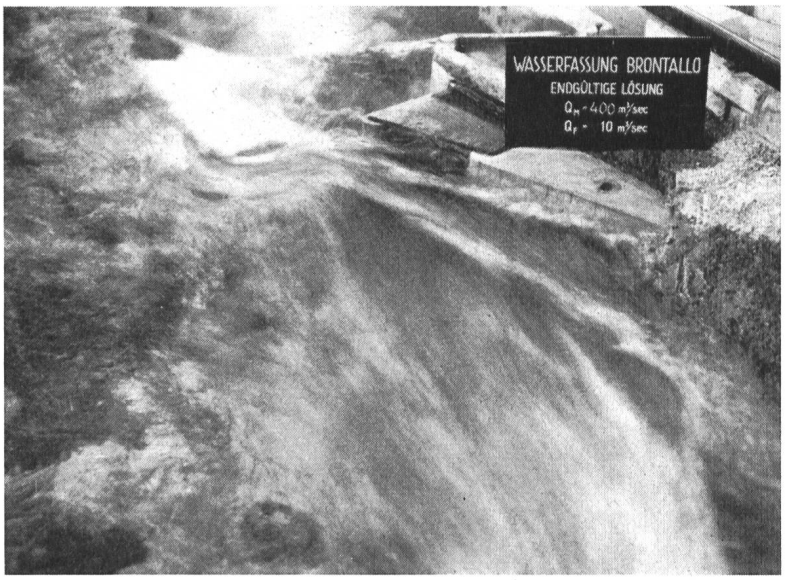


Photo 6

Photo 7



Gefälle erforderlich, um geordnete Zuströmungen zu schaffen. Der Abfluß auf diesen Rampen ist schießend.

Die Fassung 3 (Photos 8 und 9) an der Bavona befindet sich in einer Steilstrecke in Bergsturzmaterial. Die etwas schwache Krümmung des Flußlaufes mußte mit zwei extrem vorspringenden Buhnen verstärkt werden. Durch Wegsprengen einzelner großer Felsblöcke wurde die Zuströmung zur Fassung erleichtert.

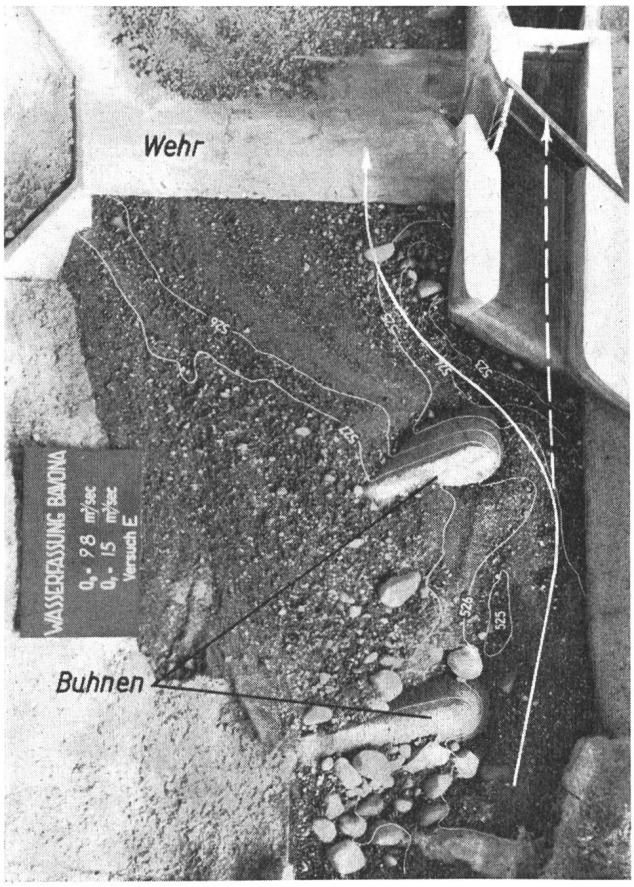


Photo 8

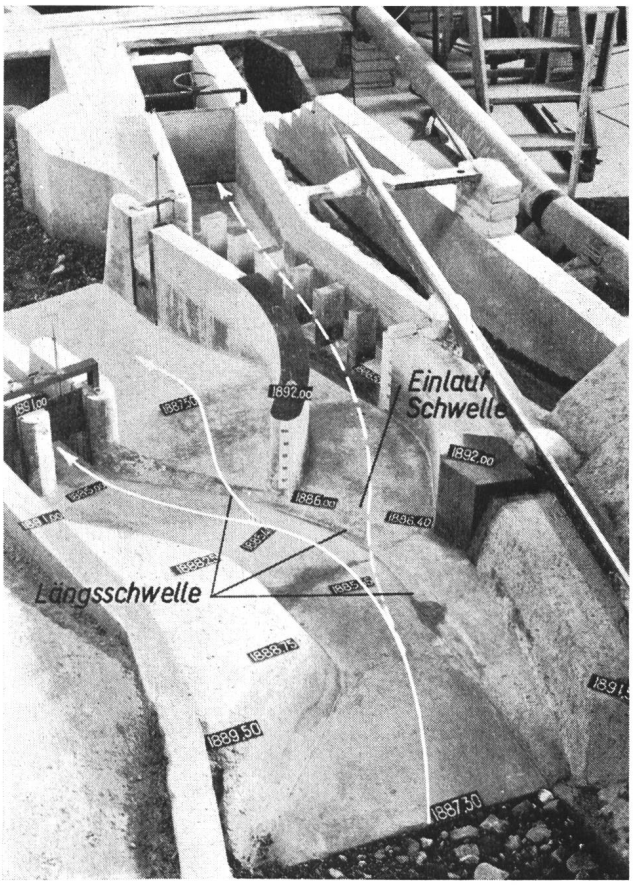


Photo 10

Die Fassung 4 (Photos 10 und 11) am Rimac in Peru liegt ebenfalls in einer grobblockigen Steilstrecke. Das sehr grobblockige Geschiebe bis zwei Meter Durchmesser erforderte den Einbau einer glatten Zulauframpe von 19 m Länge mit 8,6% Gefälle mit der besprochenen niedrigen Längsschwelle zur Führung der Einzelblöcke im schießenden Stromstrich. Zu beachten ist auch der buhnenförmige Vorbau an der Innenseite der Krümmung. Die beiden beweglichen Schützen auf der Gegenseite waren schon gebaut, als die Versuche begannen. Eine größere Schütze auf der Seite der Trennmauer dürfte günstiger sein. Die Fassung hätte aber auch ohne beweglichen Wehrteil gebaut werden können.

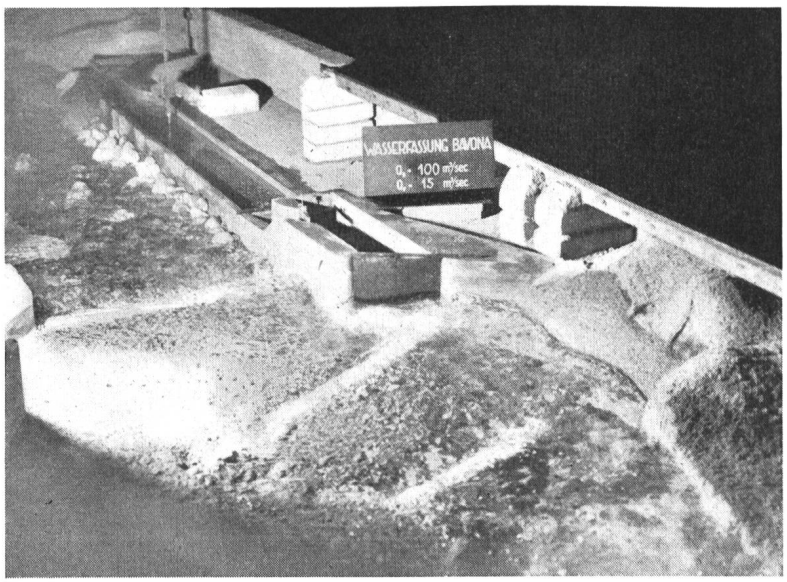


Photo 9

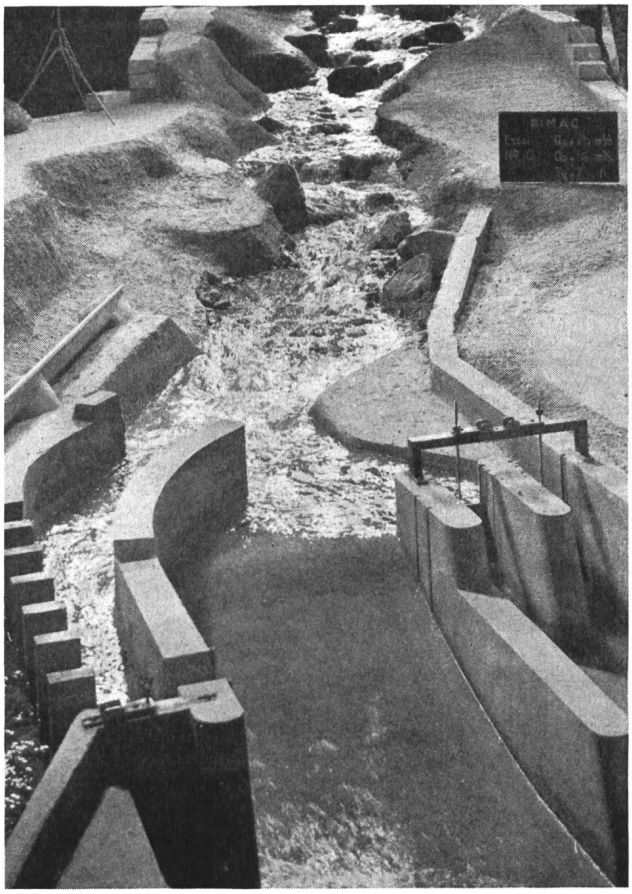


Photo 11

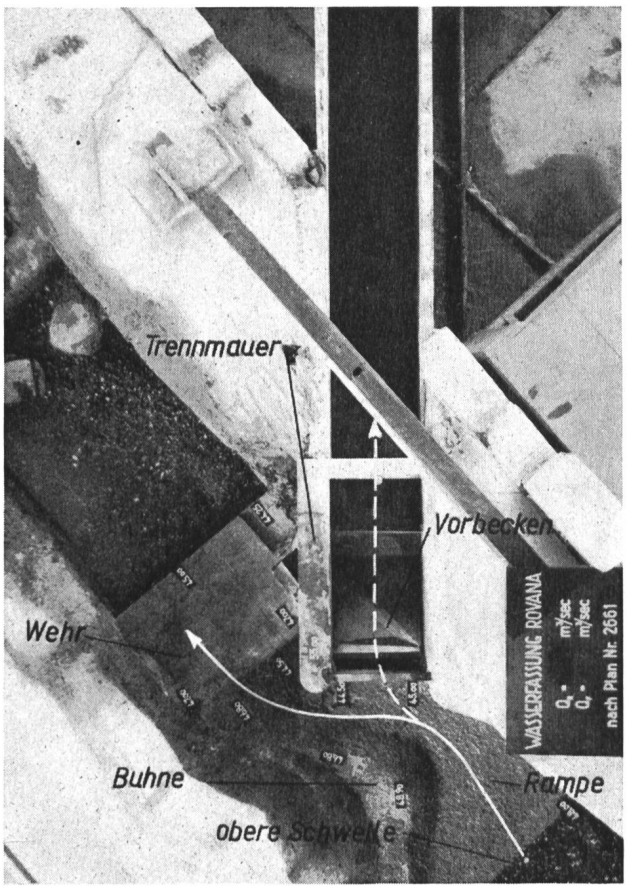


Photo 12

Die Fassung 5 (Photos 12 bis 14) an der Rovana kann als universelle Fassung in der Geraden im Sinne der Fig. 16 bezeichnet werden. Es mußte mit stoßweisem Geschiebetrieb aus dem Rutschgebiet von Campo gerechnet werden. Die obere Schwelle bezweckt eine ausgleichende Geschieberetention, vor allem für die abflauenden Abflußmengen. Die Auflandungen stören nicht, weil das Bachbett in einer tief eingeschnittenen Felsschlucht liegt. Die Zulauframpe von 12,5 m Länge weist 30% Gefälle auf. Vor der Einlaufschwelle wurde die natürliche Kolkform künstlich ausgebildet. Die hohe

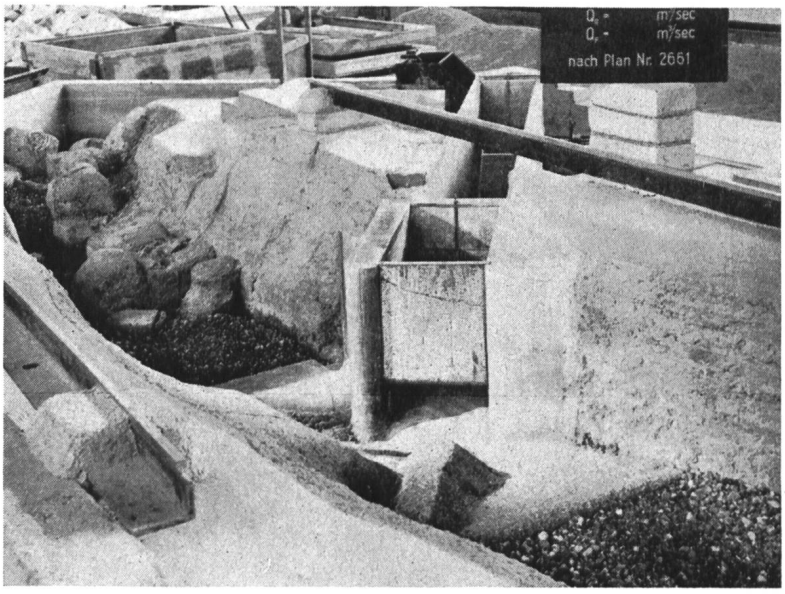


Photo 13

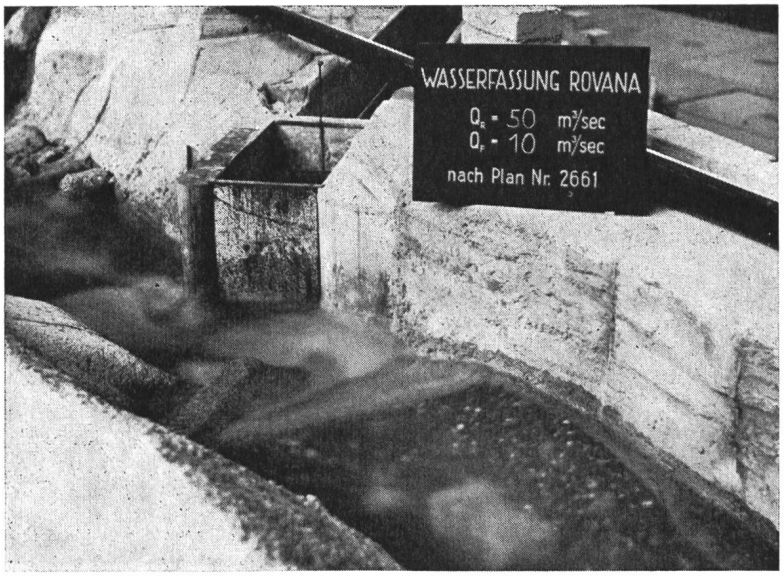


Photo 14

Buhne in Richtung des Einlaufes bezweckt eine vollkommene Konzentration der Abflußmengen auf die Fassung. Die Tauchwand hindert den Eintritt des Geschwemmsels bei Mittel- und Hochwasser. Die Abflußvorgänge sind ähnlich wie in der dargestellten Bilderserie für die Fassung Brontallo.

Die Fassung 6 an der Lienne (Photos 15 und 16) befindet sich am unteren Ende einer kurzen Alluvionsebene mit viel Feinmaterial. Zur Sicherung einer geordneten Zuströmung und für den Rückhalt des feinen Geschiebes bei abflauenden Wassern wurde die obere Schwelle eingebaut. Die Zulauframpe von 28 m Länge

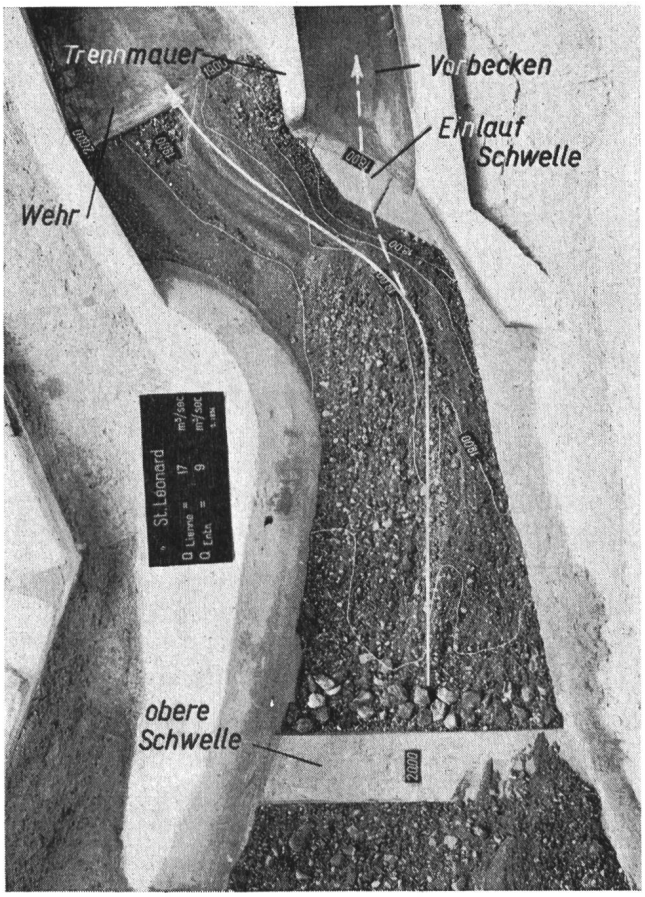


Photo 15

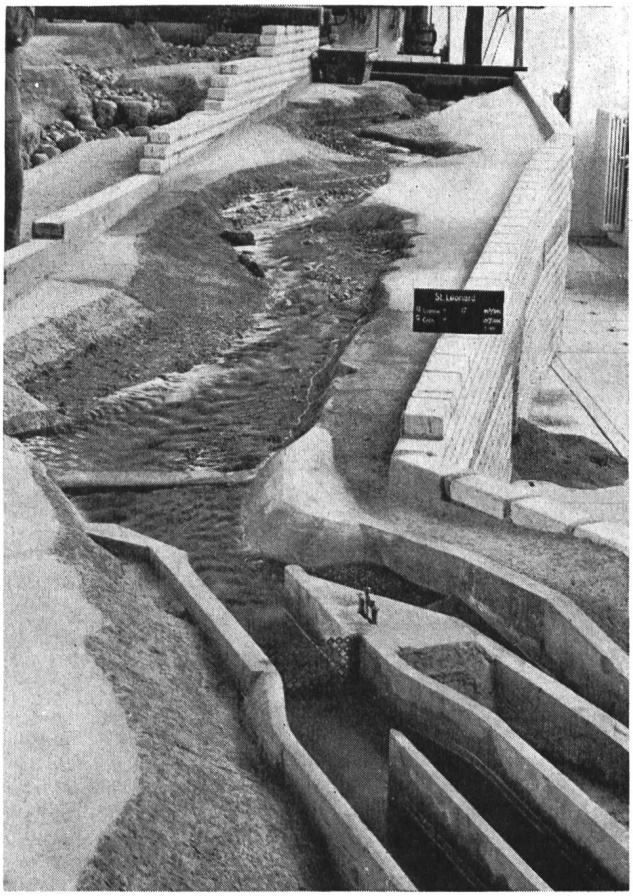


Photo 16

mit 9% Gefälle wurde als kurze mit groben Blöcken gepflästerte Strecke in latenter Erosion künstlich geschaffen. Das innere Ufer ist auch bei dieser Fassung buhnenförmig vorspringend und richtet alle Zuflüsse zum Einlauf. Die feste Wehrkrone ist auf der Seite der Trennmauer bis zur Mitte horizontal und steigt von der Mitte gegen die Innenseite um 1 m an.

2. Die wichtigsten Resultate (Tabelle 1)

a) Das Wehr

In allen Fällen war eine Lösung mit festem Wehr möglich. Die Fassung 4 bildet eine Ausnahme. Die Angaben der Tabelle 1 zeigen, daß im Fels die maximale spezifische Abflußmenge pro m Wehrbreite bis 30 m^3/sec m beträgt, während im losen Material mit Tosbecken nur 10 bis 15 m^3/sec m gewählt wurden.

b) Die Fassung

Die Einlaufschwelle liegt durchschnittlich um $T_E \cong$ 1,2 m unter dem tiefsten Punkt der Wehrkrone. Meist steigt sie von der Trennmauer (T_E = 1,45 m) gegen das Ufer (T_E = 0,95 m) an.

Die Eintrittsgeschwindigkeit, berechnet für die Ausbauwassermenge Q_A aus der Fläche $B_E \cdot T_E$, also für die Abflußmenge $Q = Q_A$ (Q_W = O), beträgt durchschnittlich 1,6 m/sec.

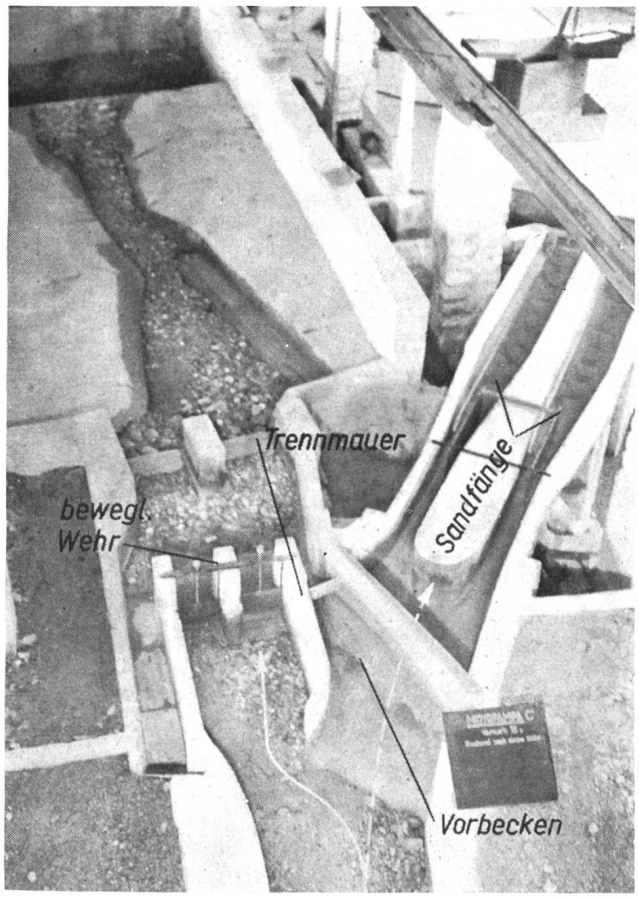


Photo 17

Wird dagegen mit $Q_0 = 2\ Q_A$ gerechnet, also mit den Wasserspiegelhöhen im Vorbecken für $Q_B = Q_W = Q_A$, so betragen durchschnittlich

die Einlauftiefen $T_{E0} \cong 2{,}1$ m

und die Einlaufgeschwindigkeiten

$$v_{E0} = \frac{Q_A}{T_{E0} \cdot B_E} = 0{,}8 \text{ m/sec}$$

Dabei ist zu beachten, daß sich aus den Fassungen 1, 2, 5 und 6 ein guter Mittelwert von nur

$$v_{E0} = 0{,}75 \text{ m/sec}$$

ergibt, während die beiden Fassungen 3 und 4 Eintrittsgeschwindigkeiten um 1 m/sec aufweisen.

Interessant ist das relativ konstante Verhältnis zwischen B_E (m) und Q_A (m^3/sec), nämlich

$$B_E = 0{,}55 \cdot Q_A$$

eine Bezeichnung, die als guter Mittelwert für angenäherte Beurteilungen verwendet werden kann.

Im Grundriß beträgt der Winkel β zwischen Richtung der Einlaufschwelle und Wehraxe im Mittel 44°. Auch der Winkel γ über die Axrichtung des Einlaufes ist von gleicher Größenordnung. Der Kopf der Trennmauer liegt durchschnittlich um das Maß der Einlaufbreite flußaufwärts der Wehraxe.

B. Fassungen in Beharrungsstrecken

Die Tabelle 2 orientiert über die wesentlichen Grundlagen und Resultate der untersuchten Fassungen. Gute Lösungen können in günstigen Stellen von Beharrungsstrecken angeordnet werden, wenn keine einschränkenden Hochwasserbedingungen bestehen. Schwieriger ist es dagegen, Lösungen zu finden, wenn strenge Hochwasservorschriften bestehen und zudem aus Kostengründen Flußkorrektionen vermieden werden sollen. Weil die Einbauten in solchen Fällen keine extremen Formen aufweisen dürfen, erreicht die Konzentration der Abflußmengen auf den Einlauf nicht den Grad wie in den beschriebenen Beispielen in latenten Erosionsstrecken.

Bei den untersuchten Fassungen sind alle Abflüsse strömend. Lange Beharrungsstrecken oberhalb der Fassungen erlaubten jeweils im Modell die Bestimmung von Q_0, der Geschiebefunktion und der Geschiebefrachten. Die Fassungen wurden mit stationären Abflüssen und mit Hochwasserspitzen überprüft.

Die Reihenfolge der Fassungen ist gewählt im Sinne eines Überganges von der Wildbachfassung zur eigentlichen Flußfassung. Die Fassungen 14 und 15 betreffen noch in Untersuchung begriffene Anlagen; die Angaben sind als Studien zu werten.

1. Die untersuchten Fassungen

Die Fassung 7 (Photo 17) an der Santa Eulalia in Peru kann noch als Wildbachfassung gelten. Die Fas-

Tabelle 2: Fassungen in Beharrungsstrecken

	Größe		Fassung Nr.										Mittel		
	Art	Dim.	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Zahl	Größe	17
Grundlagen	Q_{max}	m³/sec	180	200	220	450	400	400	410	100	250	2200			1200
	Q_A	m³/sec	16	4,6	2,5	4,4	8	12	80	12	14	570			200
	Q_o	m³/sec	30	10	15	10	40	40	250 (Stau)	12 ÷ 16	∾ 20	1300			200
	B	m	12	22	15	32	30	30	60	9	12	150			60
	d	m	0 ÷ 2	0 ÷ 0,12	0 ÷ 0,12	0 ÷ 0,15	0 ÷ 0,24	0 ÷ 0,15	0 ÷ 0,09	0 ÷ 0,2	0 ÷ 0,5	0 ÷ 0,08			0 ÷ 0,1
	α	o	20	45	35	45	23	0	0	∾ 60° (k)	∾ 60° (k)	0			73
	J	%	4,5		0,3	0,6	0,5	0,45	0,12	1,5	1,0	0,07			0,6
Wehr	B_W	m	2 × 5	13	12	33	26	31	42,3	11	2 × 6	7 × 15			3 × 13
	Art		b	f	f	f	f	t • b	b	t • b	b	b			b
	Q_{max}/B_W	m³/sec m	18	15,4	18,3	13,6	15,4	13	9,7	9,1	21	21			31
Fassung	β	o	45	32	10	0	0	0	0	28	65	0	5	36	25
	γ	o	35	Dücker/0	25	0	0	0	0	28	40	0	4	32	0
	B_E	m	12,5	3,5	3,5	6	6,2	7,5	12,6	5,2	9,0	65			40
	T_{E0}	m	1,6	2,0	1,1	1,4	2,26	2,15	7,55	1,95	2,25	7,2	8	1,85	7,0
	F_{E0}	m²	20	7,0	3,85	8,4	14	16,1	95,2	10,15	20,2	468			280
	v_{E0}	m/sec	0,8	0,66	0,65	0,52	0,53	0,75	0.84	1,18	0,69	1,22	10	0,78	0,72
	T_E	m		1,5	0,5	1,0	1,0						4	1,0	
	v_E	m/sec		0,88	1,43	0,73	1,29						4	1,1	
	B_E/Q_A	sec/m²	0,78	0,76	1,4	1,36	0,78	0,62	0,16	0,43	0,64	0,11	10	0,7	0,2
	Q_A/T_{E0}	m²/sec	10	2,3	2,27	3,14	3,54	5,58	10,6	6,15	6,22	79	8	0,85	28,6

Tabelle 3: Die Tiefen T_{E_o} und T_E bei den Fassungen mit beweglichen Wehren

Fassung Nr.	T_{E0} m	T_E m	
7	1,6	0	Schwelle ∾ Sohlenhöhe
12	2,15	1,3	Verglichen mit mittlerer Sohle
13	7,55	3,0	T_E ist die Kolktiefe, Kolk war Bedingung für Wirkung, Schwelle innerhalb Vorbecken
14	1,95	0,7	Verglichen mit der mittleren Sohle der Korrektionsstrecke oberhalb
15	2,25	0 *	* noch nicht endgültig
16	7,20	1,5	T_E ist mittlere Kolktiefe, keine Schwelle
17	7,0	2	Verglichen mit der mittleren Sohle, keine Schwelle

sungsstrecke ist aber in eigener Alluvion mit großer und grober Geschiebeführung. Die beiden beweglichen Wehrteile erlauben den Aufstau bis $Q_0 \cong 30 \cong 2\ Q_A$. Eine Lösung konnte nur mit ausgekrümmter Trennmauer gefunden werden. Die starke Verengung des Durchflußprofils bedingt eine natürliche Eintiefung des Flußbettes an der engsten Stelle beim Kopf der Trennmauer und ergänzt so die Ablenkwirkung. Speziell wurde noch die günstigste Richtung des Übergangs zu den Sandfängen untersucht. Es ergab sich ein Winkel γ von 30°, der angenähert der Zuströmungsrichtung entspricht.

Die Fassung 8 (Photos 18 und 19) an der Massa liegt nur einige hundert Meter unterhalb des Gletschers. Der Gletscher bringt sehr viel relativ feines Geschiebe, wobei $Q_0 \cong 10 \cong 2{,}2\ Q_A$. Die Felsschlucht ermöglichte jedoch eine freie Gestaltung der Fassung. Die feste Krone des Wehres wurde mit zwei Stufen von 0,75 m Höhe abgetreppt mit der tiefsten Krone bei der Trennmauer. Im Winter werden Stautafeln eingesetzt. Trotz günstiger Lage in der knieförmigen Krümmung mußte mit Buhnen nachgeholfen werden. Die Tauchwand bewährt sich auch für die Ablenkung des starken Eistriebes. Speziell ist zu erwähnen, daß das Wasser auf der Außenseite des Knies gefaßt und durch einen Dücker im Wehrkörper auf die Sandfang- und Stollenseite geleitet wird.

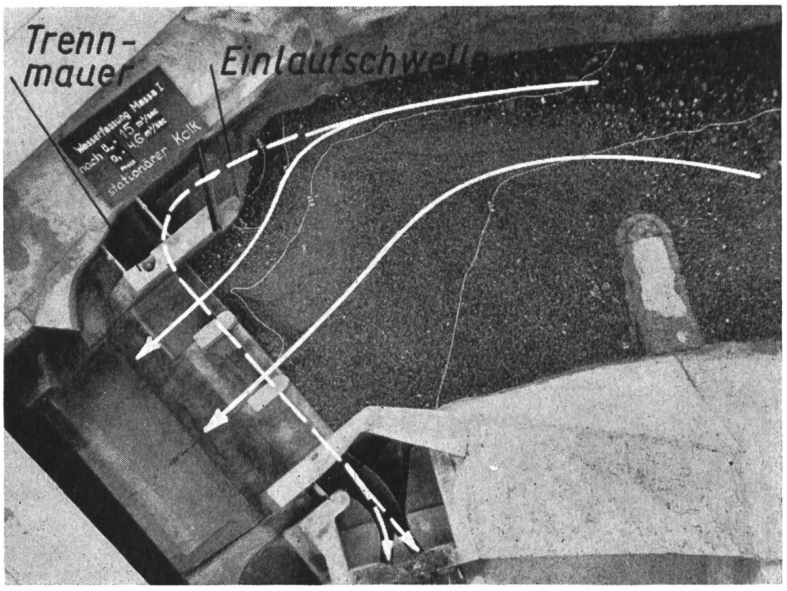


Photo 18

Photo 19

Photo 20

Die Fassung 9 (Photo 20) an der Jona ist eine Kleinfassung mit festem Wehr in einem Vorfluter mit relativ großer und feiner Geschiebeführung. Mit $Q_0 \cong 15 \cong 6 \cdot Q_A$ und der gegebenen Krümmung sind an sich günstige Verhältnisse vorhanden. Trotzdem mußte, wegen der kleinen Ausbauwassermenge, die Einlaufbreite groß gewählt werden, um ohne Buhnen eine genügende Ablenkwirkung zu erzeugen. Für den Aufstau der Niederwasser wurde bei der Endlösung eine Klappe von 0,5 m Höhe vorgesehen.

Bei der Fassung 10 an der Sihl (Photos 21 und 22) war die Wehrstelle etwas unterhalb einer Krümmung schon gegeben. Auf den Geschiebetrieb konnte aus der Alluvion oberhalb des bestehenden festen Wehres geschlossen werden. Trotz dem nicht besonders günstigen Verhältnis $Q_0 \cong 10 \cong 2{,}3\ Q_A$ genügte eine normale Anordnung mit festem Wehr.

Bei den Fassungen 11 und 12 muß geschiebetechnisch bemerkt werden, daß sich die Emme in einem Grenzzustand der latenten Erosion befindet. Nach geschiebetechnischen Studien beträgt die Geschiebezufuhr in die Fassungsstrecken nur ungefähr $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ des Transportvermögens. Für diese reduzierten Geschiebemengen wurden die Fassungen entwickelt. Sehr einschränkend wirkten in beiden Fällen die vorgeschriebenen Hochwasserbedingungen. Die Lösungen sind deshalb auch spültechnisch ungünstig.

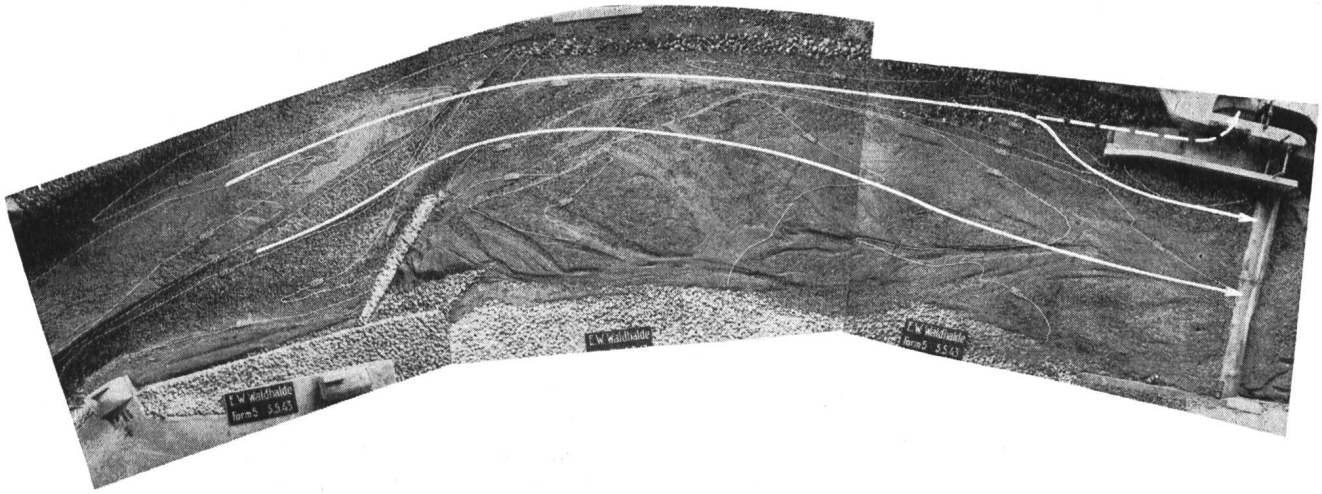


Photo 21

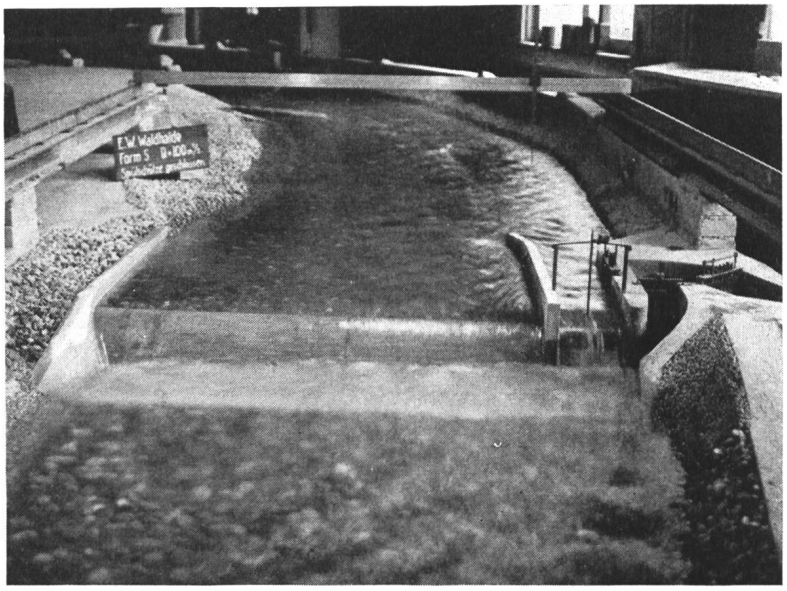


Photo 22

Bei der Fassung 11 (Photos 23 und 24) konnte mit ausgekrümmter Trennmauer eine Lösung mit festem Wehr genügen. Das Verhältnis $Q_0 \cong 40 \cong 5 \cdot Q_A$ ist günstig. Der Einlauf liegt auf der Außenseite einer schlanken, schwachen Krümmung, so daß mit langen niederen Buhnen der Stromstrich auf der Fassungsseite etwas verstärkt werden konnte.

Die Fassung 12 (Photos 25 bis 27) liegt dagegen in der Geraden und ist zudem mit $Q_0 \cong 40 \cong 3{,}3\, Q_A$ auch etwas ungünstiger. Die Buhnen ermöglichten infolge der Hochwasserbedingung nur eine schwache Konzentration der Abflußmengen auf den Einlauf. Geschiebeablenkung und Hochwasserbedingung erforderten den beweglichen Wehrteil.

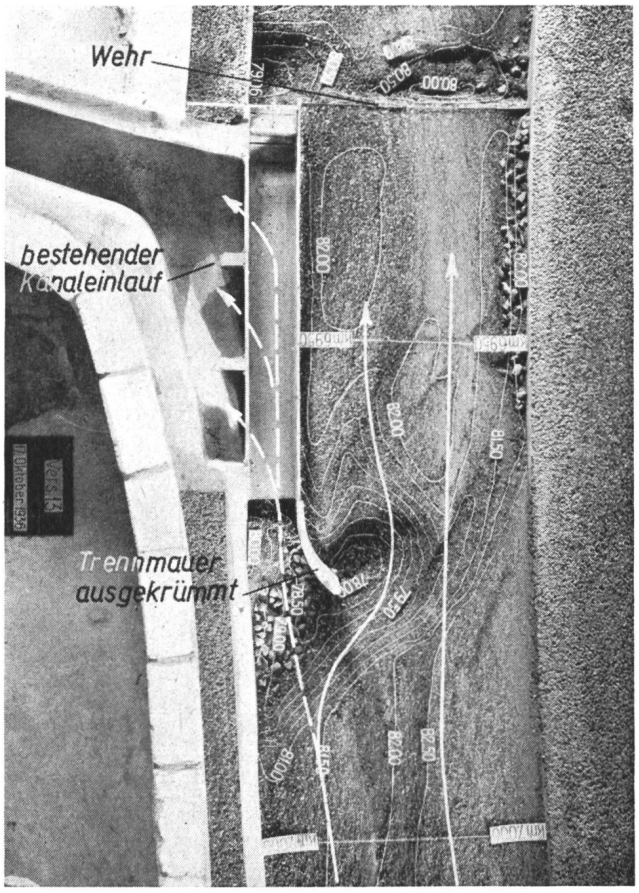


Photo 23

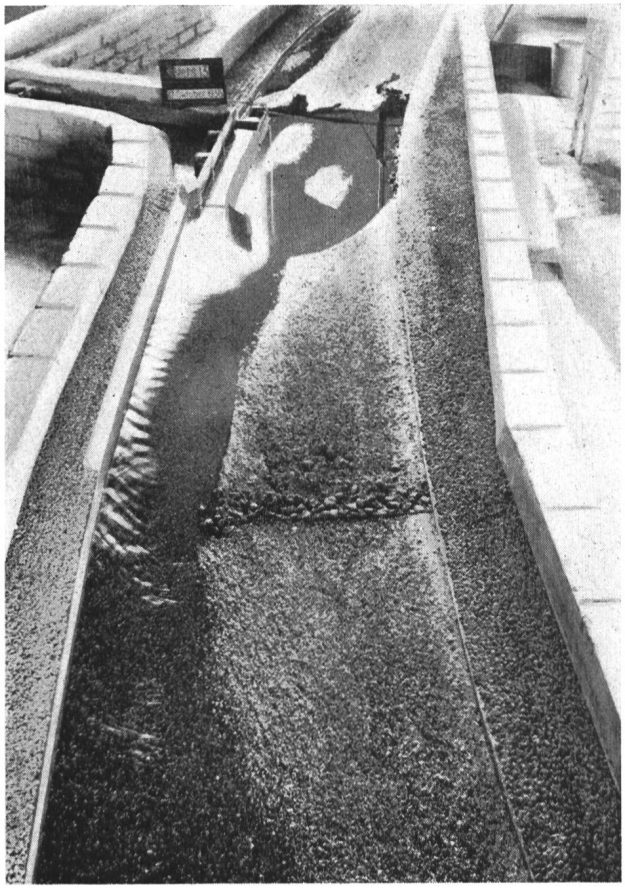


Photo 24

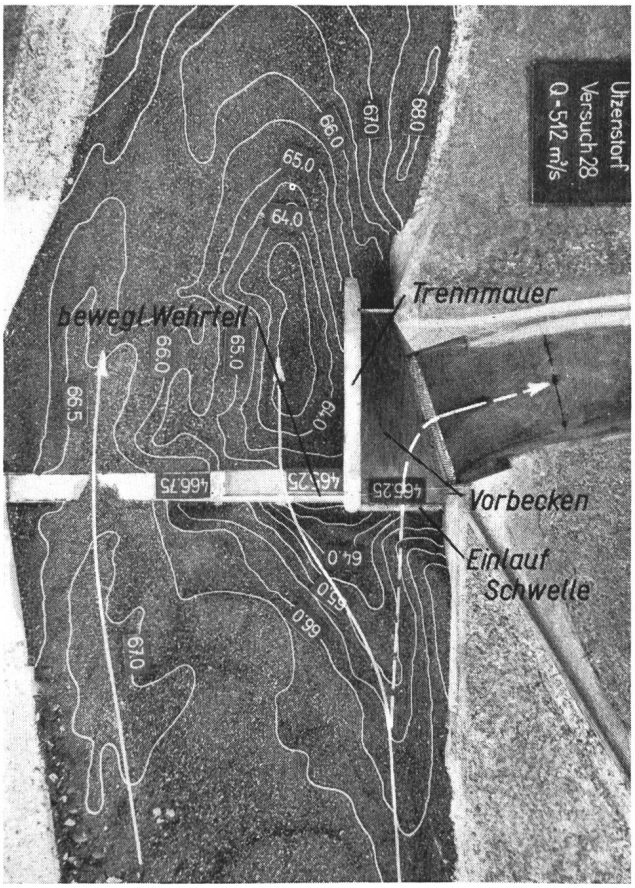


Photo 25

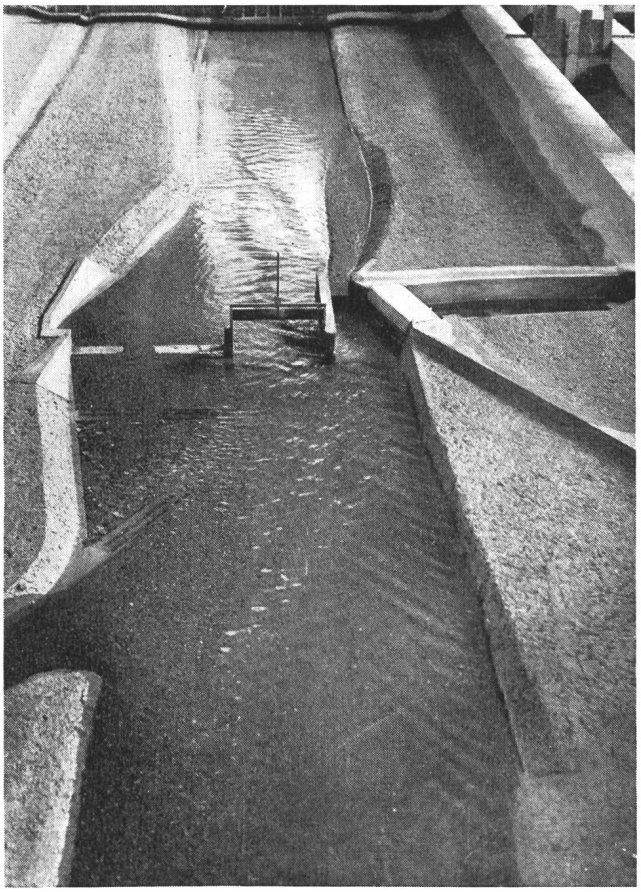


Photo 27

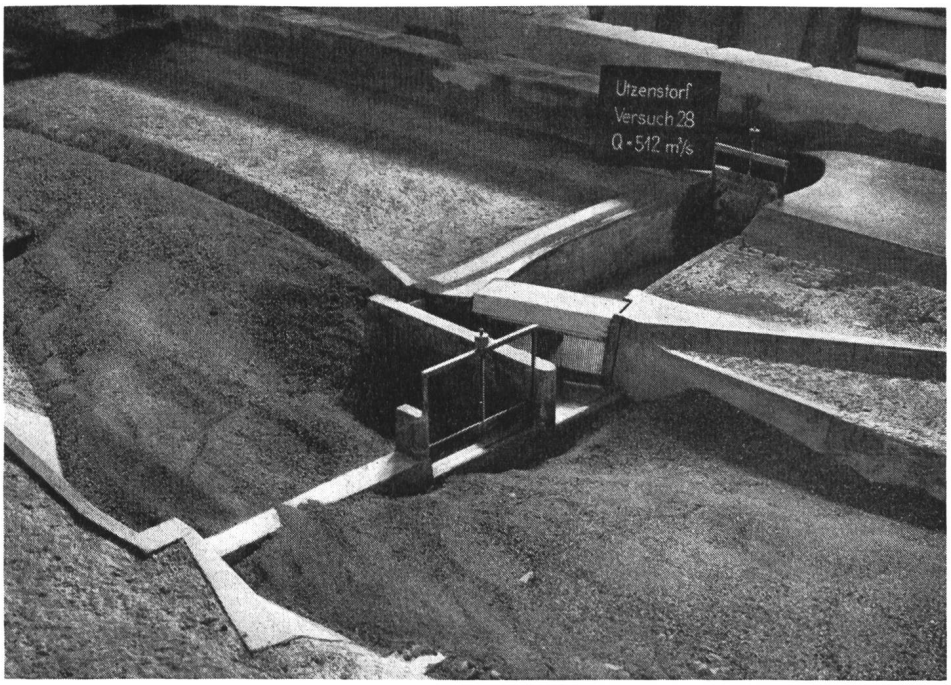


Photo 26

Bei der Fassung 13 (Photos 28 und 29) an der Aare handelte es sich um eine Verbesserung einer Flußfassung mit $Q_0 \cong 250 \cong 3 \cdot Q_A$. Das bewegliche Wehr wird angenähert auf konstanten Stau reguliert. Infolge der gegebenen Verhältnisse waren die Möglichkeiten sehr eingeschränkt. Interessant ist, daß für die Endlösung das für den Abfluß von Q_0 berechnete $v_{E0} \cong 0{,}84$ m/sec mit den andern Beispielen gut übereinstimmt.

Die Fassungen 14 und 15 (Photos 30 bis 33) betreffen im Gang befindliche Versuche. In beiden Fällen ist das Verhältnis zwischen Q_A und Q_0 so ungünstig, daß ohne Restriktionen mit zeitweisen Einschwemmungen gerechnet werden muß. Mit Flußkorrektionen im Ober- und Unterwasser im Sinne der Fig. 8 und 9 konnten aber typische extreme Lösungen geformt werden, die schon ab $Q \cong 1{,}5\ Q_A$ geschiebeablenkend wirken. Für diese Abflußmengen sind die Größen der Tabelle 2 berechnet. Die Möglichkeit der extremen Formgebung liefert Größen, die gegen die Werte der ebenfalls extremen Fassungen der Tabelle 1 tendieren.

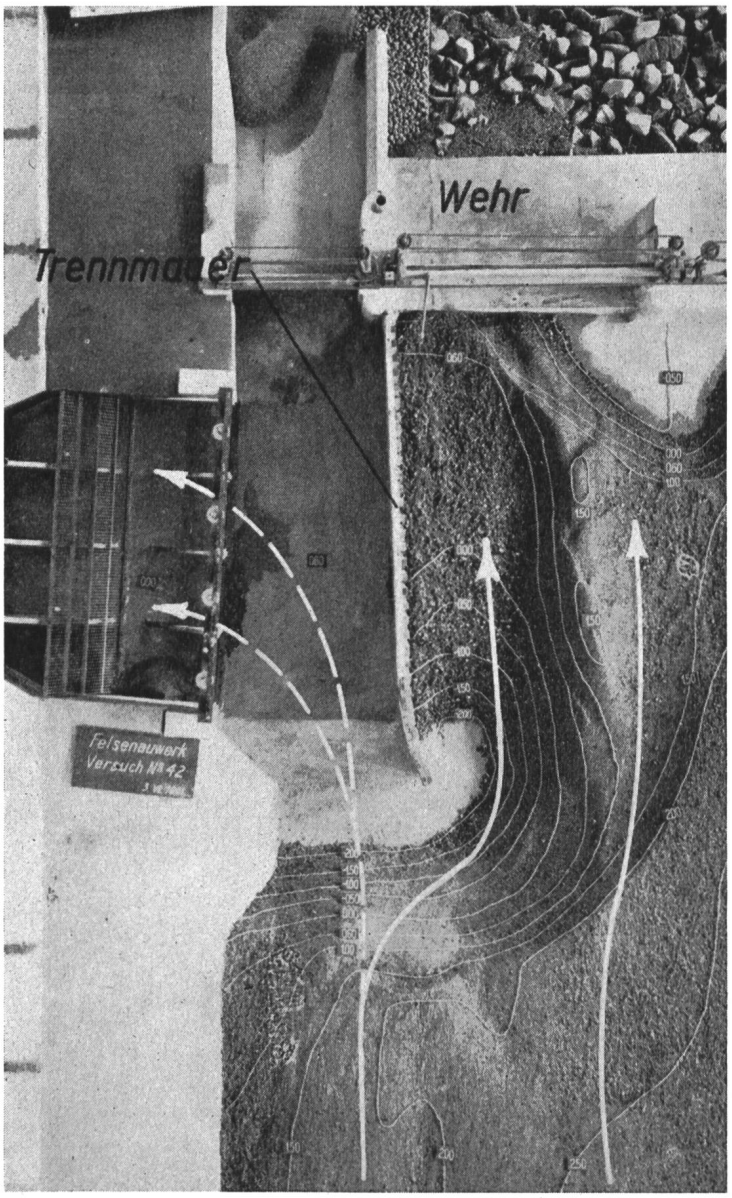


Photo 28

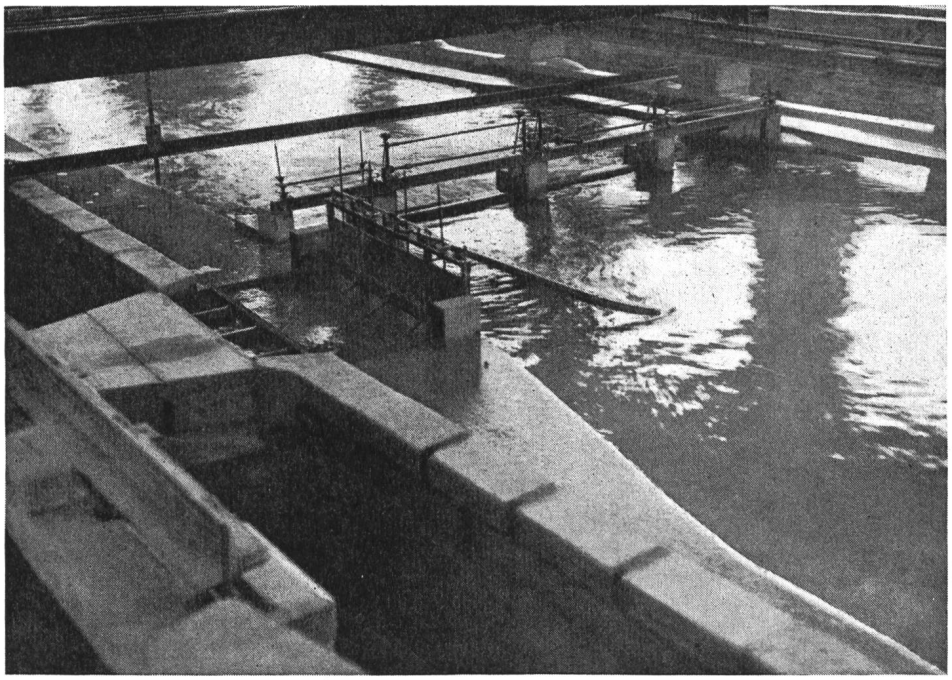


Photo 29

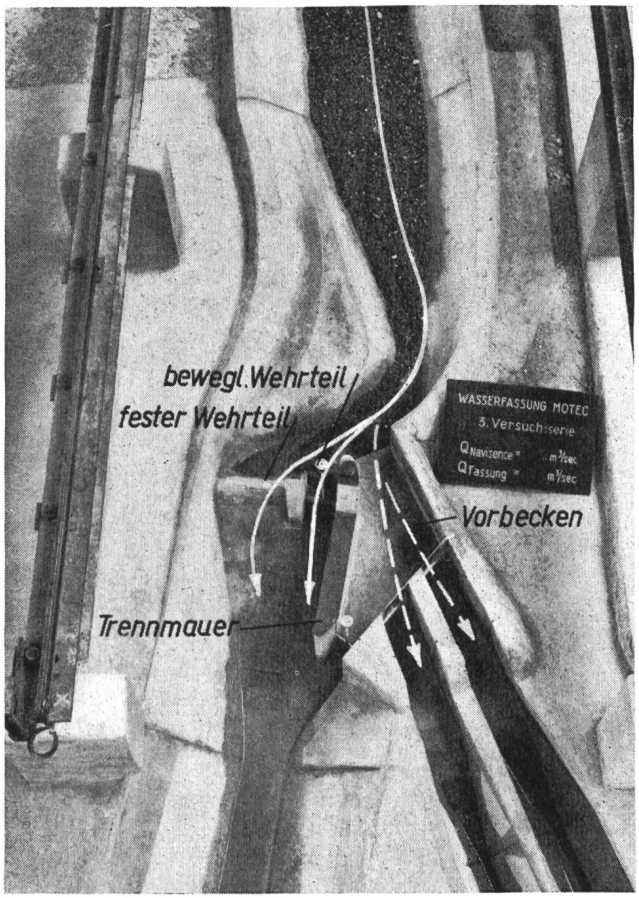


Photo 30

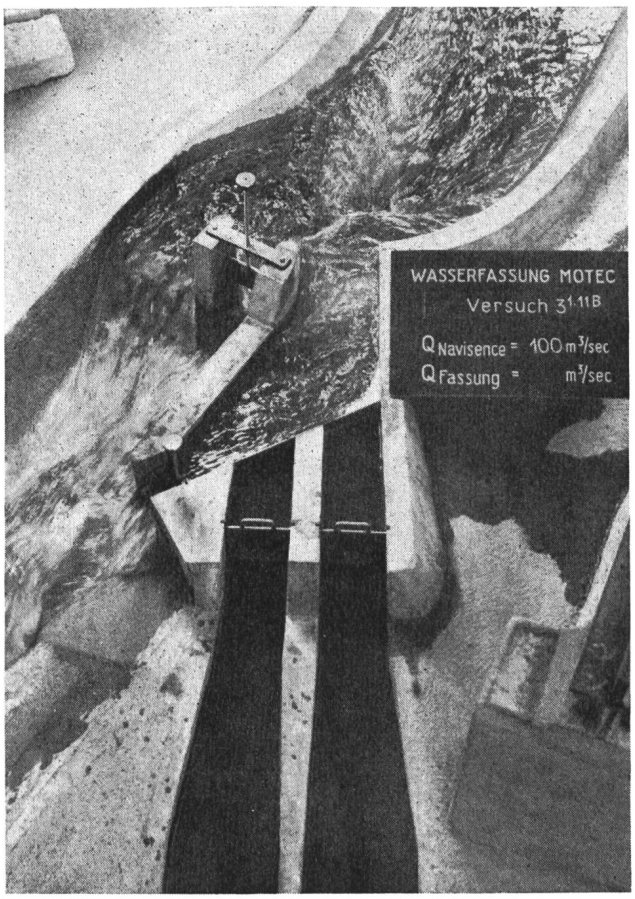


Photo 31

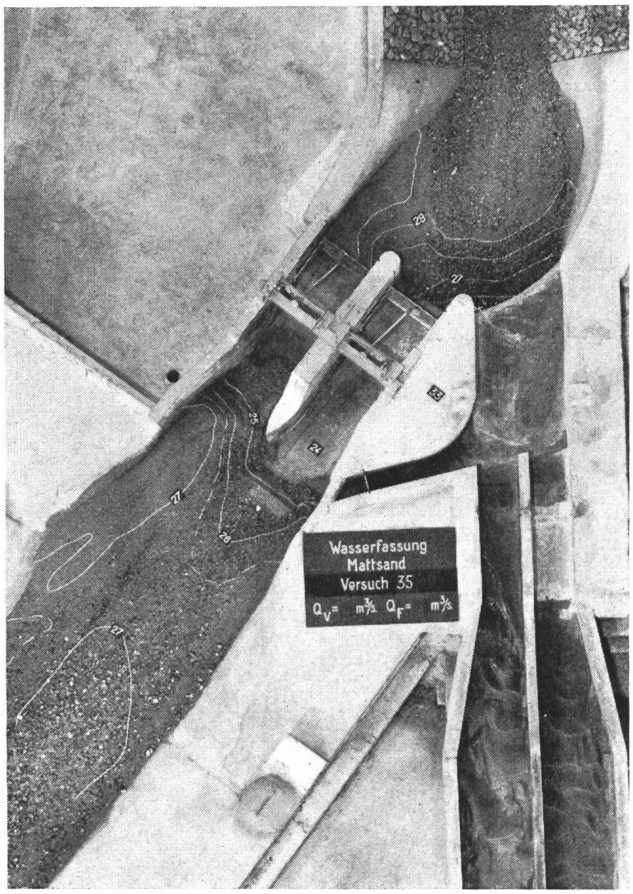


Photo 32

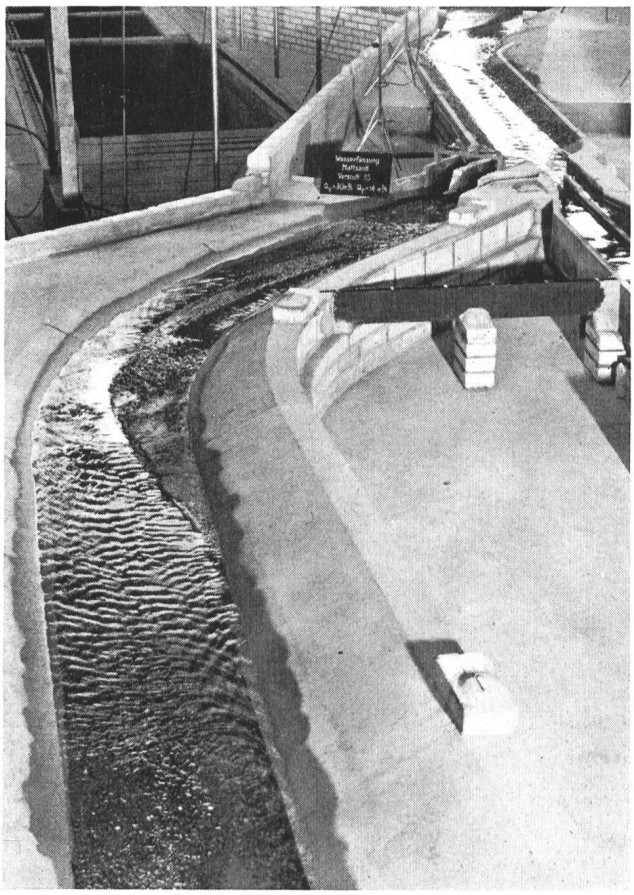
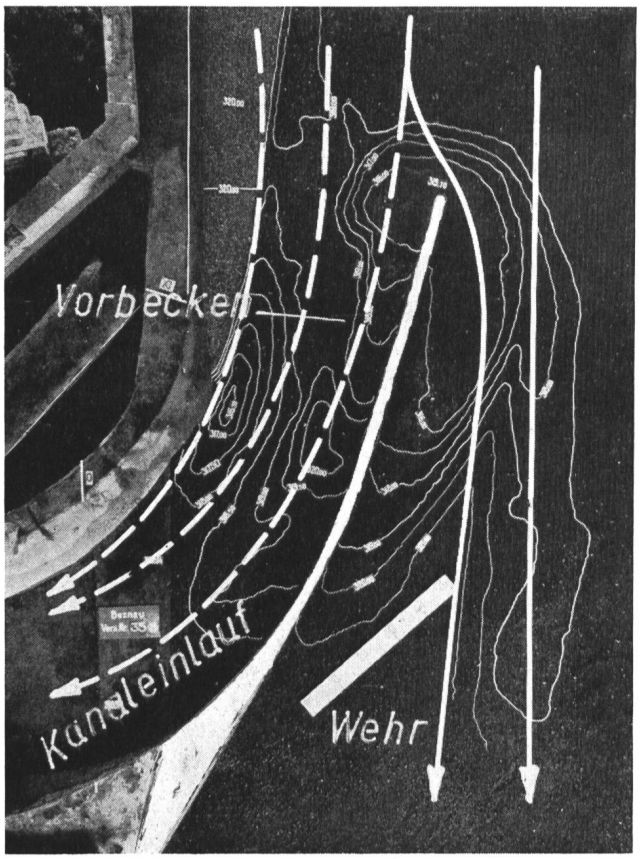
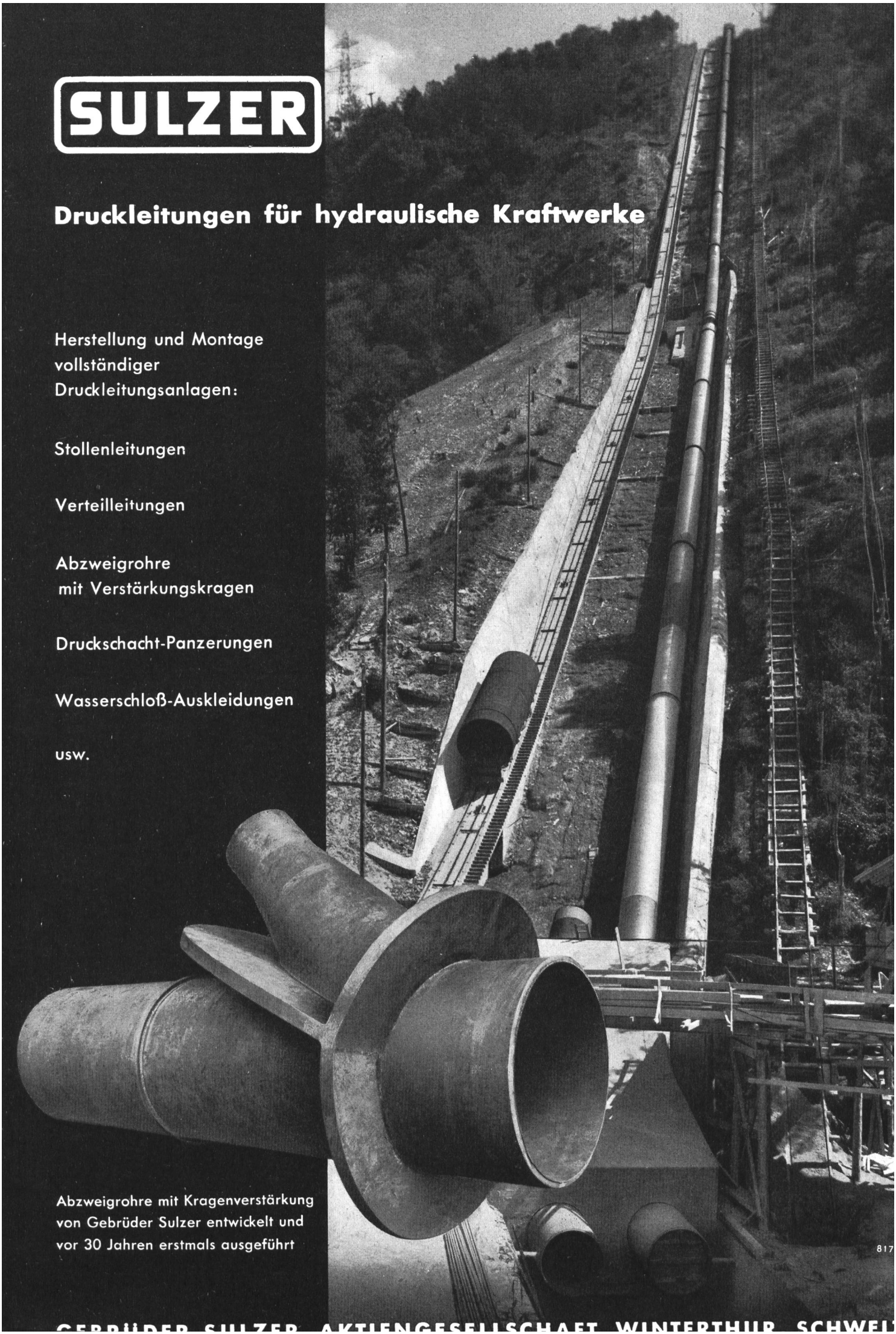


Photo 33

Photo 34



Die Fassung 16 (Photo 34) ist ein Versuch zur Verbesserung des Einlaufs eines bestehenden Kanalwerkes an der Aare. Es war eine extreme Lösung erforderlich mit querstehendem Einlauf von 65 m Breite bei 140 m Flußbreite. Da keine feste Einlaufschwelle besteht, wurde die Tiefe T_{E0} der Tabelle 2 gerechnet mit der mittleren Sohlenkote im Einlaufquerschnitt nach der normalen Kolkausbildung. Es ist interessant, wie diese «natürliche Einlaufschwelle» von der Trennmauer gegen das Ufer um 5 m (9%) ansteigt. Die Einlaufgeschwindigkeit ist mit 1,22 m/sec trotzdem relativ groß, weil die Einlaufbreite, bedingt durch die gegebene Flußbreite, für die große Ausbauwassermenge noch zu schmal ist. Das Beispiel zeigt, daß für den entworfenen Fassungstyp Anwendungsgrenzen gegeben sind.


SULZER
Druckleitungen für hydraulische Kraftwerke
Herstellung und Montage
vollständiger
Druckleitungsanlagen:
Stollenleitungen
Verteilleitungen
Abzweigrohre
mit Verstärkungskragen
Druckschacht-Panzerungen
Wasserschloß-Auskleidungen
usw.
Abzweigrohre mit Kragenverstärkung
von Gebrüder Sulzer entwickelt und
vor 30 Jahren erstmals ausgeführt
817
GEBRÜDER SULZER AKTIENGESELLSCHAFT WINTERTHUR SCHWEI

SCHAFIR & MUGGLIN

Bauunternehmung AG

Liestal Zürich Baden Chur

Staudämme Staumauern
Tunnel Stollen Brücken
Kanäle Flußkorrektionen
Flugplatz- und Straßenbauten
usw.

OPALIT

das schweizerische pulverisierte Dichtungsmaterial aus hochwertigem

OPALINUSTON

Verwendbarkeit:

Dichtungsmaterial für

Kanalbauten

Erddamm-Kerne

Injektionen

TONWARENFABRIK HOLDERBANK AG HOLDERBANK/Aargau
Tel. (062) 5 20 40

BRUN

BRUN

BRUN

BRUN

BAUMASCHINEN

Betonmaschinen, Baukrane, Kompressoren, Preßluftwerkzeuge, Steinbrecher, Vibrationssiebe, Elevatoren usw.

HEBEZEUGE

Für Hand- und elektrischen Betrieb. Flaschenzüge, Laufkatzen, Laufkrane, Wandwinden, Wellenböcke, Fußwinden.

KETTEN

In allen Dimensionen und Tragkraften für Industrie und landwirtschaftliche Zwecke mit passenden Kettenrädern.

BRUN+CO AG NEBIKON

(062) 95112

A. & K. Schneider Jona-Rapperswil

Eisen- und Kesselbau

Telephon (055) 2 17 12

Siloanlage Staumauer Zervreila. Inhalt = 13 000 m³

Stahlbau

Hallen- und Fabrikbauten, Brücken, Masten, Kranen, Siloanlagen, Stauwehre, Konstruktionen für den Fahrleitungsbau usw.

Kesselbau

Lagertanks für Heizöl Benzin usw., in allen Größen und Bauarten. Rohrleitungen, Filterrohre für Grundwasserwerke, Pontons usw.

Aus unseren Arbeitsgebieten:

Wasserwirtschaft

Hydrologische Untersuchungen
Grundwasserbohrungen und Pumpversuche
Filterbrunnen mit Gitterfiltern
Heberleitungen und Seeleitungen
Grundwasserfassungen mit horizontalen Filterrohren
Filteranlagen für Schwimmbäder und Gebrauchswasseraufbereitungen
Chlorierungsanlagen «Chlormatic»
Dosieranlagen für die Beimischung von flüssigen Chemikalien

Energiewirtschaft

Sondierbohrungen mit Wasserverlustmessungen als Voruntersuchungen für Staumauerfundamente und Erddämme

Entnahme von ungestörten Bodenproben

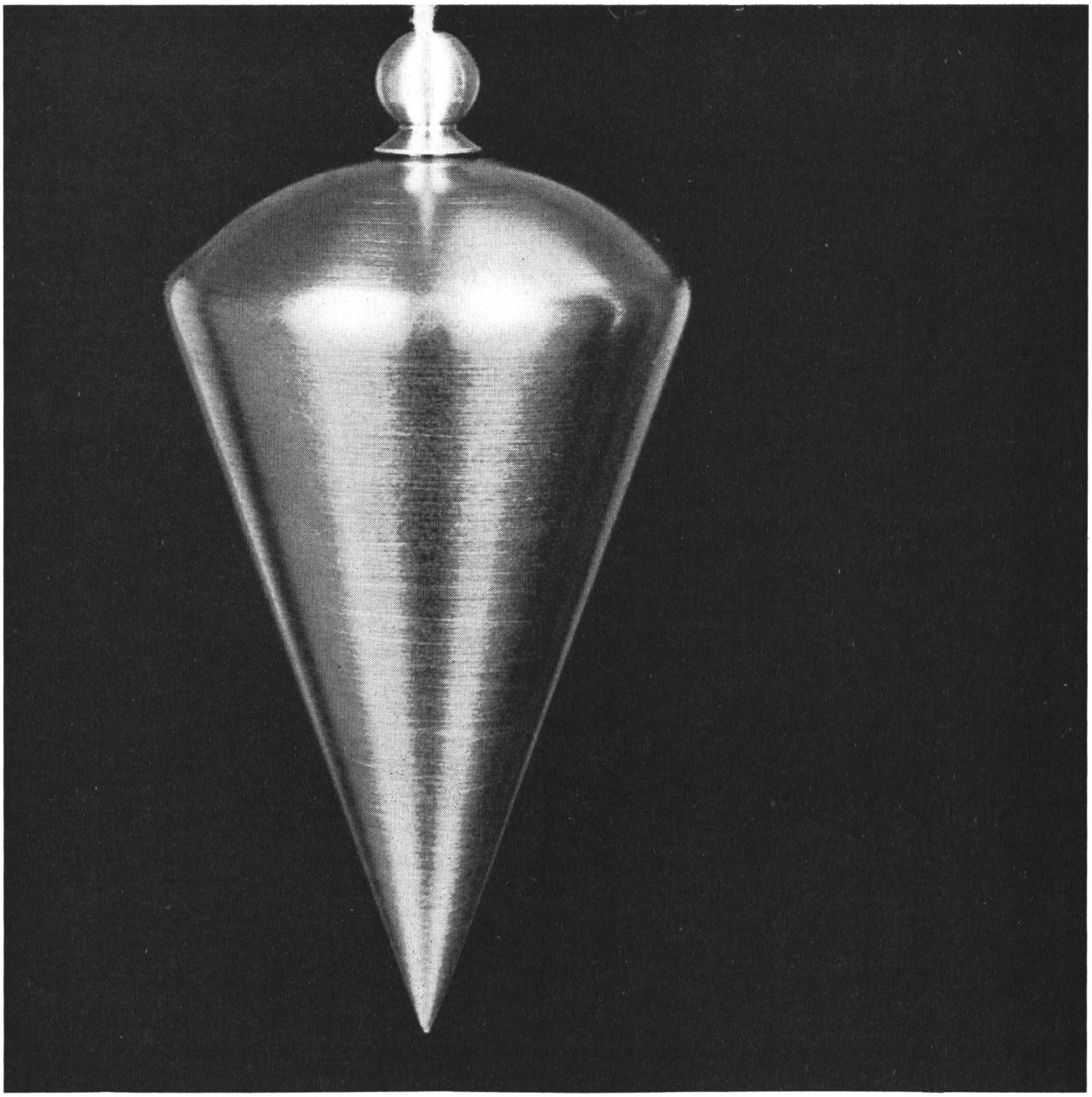
Staudamm-Konsolidierungen durch Kernbohrungen und Injektionen von Zement, Chemikalien usw.

Fugeninjektionen

FEHLMANN

AG FÜR GRUNDWASSERBAUTEN

BERN Zeughausgasse 22 Tel. (031) 2 17 42



worauf es ankommt . . .

Richtmass jeder erfolgreichen Unternehmung ist die durchdachte Organisation. Auf rationellste Leistung ausgerichtet sind die bewährten Charles Keller Baumaschinen. Ihre Unverwüstlichkeit geniesst im In- und Ausland sprichwörtlichen Ruf. Wer wirtschaftlich denkt, denkt deshalb bei seinem nächsten Ankauf daran: für höchste Ansprüche eine Charles Keller Baumaschine — sie leistet mehr!

Verlangen Sie unsere illustrierten Prospekte

Charles Keller Baumaschinen Zürich

Theaterstrasse 10 Telephon 051/34 37 34

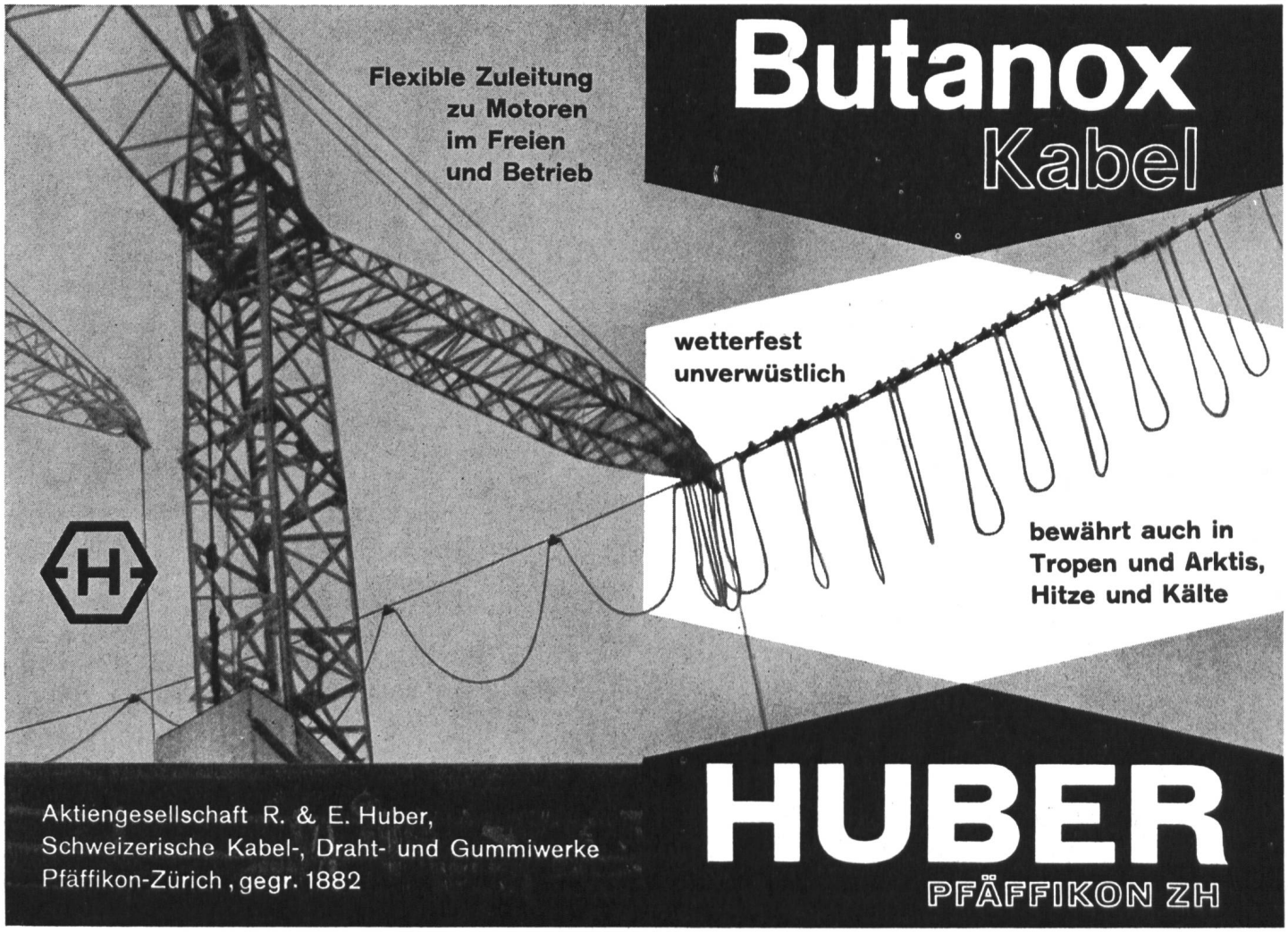
REIFLER & GUGGISBERG, Ing. AG

Bauunternehmung

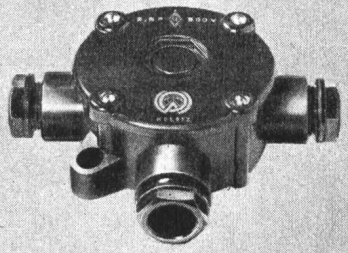
B I E L

Telephon (032) 2 56 22

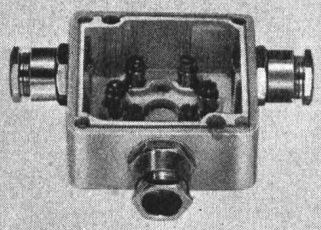
Hoch- und Tiefbau
Stollenbau
Wasserbau
Straßenbau
Eisenbeton



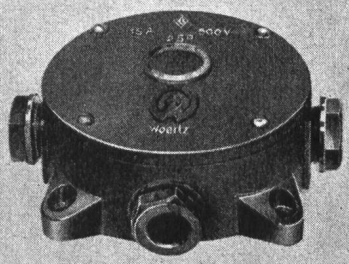
WOERTZ-KABEL-ABZWEIGDOSEN



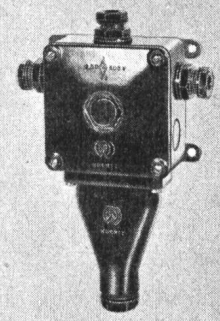
Bakelitdose mit Stopfbuchsen für Kabel bis 4 x 2,5 mm²



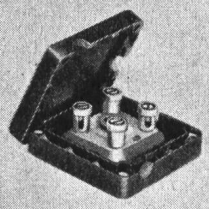
Wasserdichte Steatit-Dose mit Messing-vernickelten Stopfbuchsen



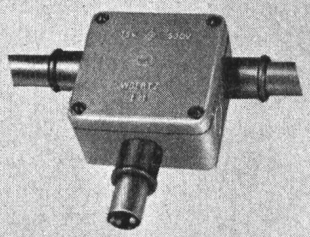
Diese Bakelitdose kann auch als Decken- und Wandarmatur oder Pendelleuchte ergänzt werden



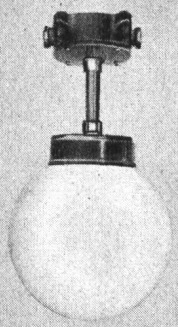
Bakelitdose mit angebautem, druckfestem Endverschluss



Tdc Kabeldose für trockene Räume, 1,5 mm²



Staubdichte Steatitdose mit Thermoplast-Stutzen für Isolierrohre



Obige Bakelit-Dose als Pendelleuchte

OSKAR WOERTZ BASEL TEL. (061) 34 55 50

CATERPILLAR

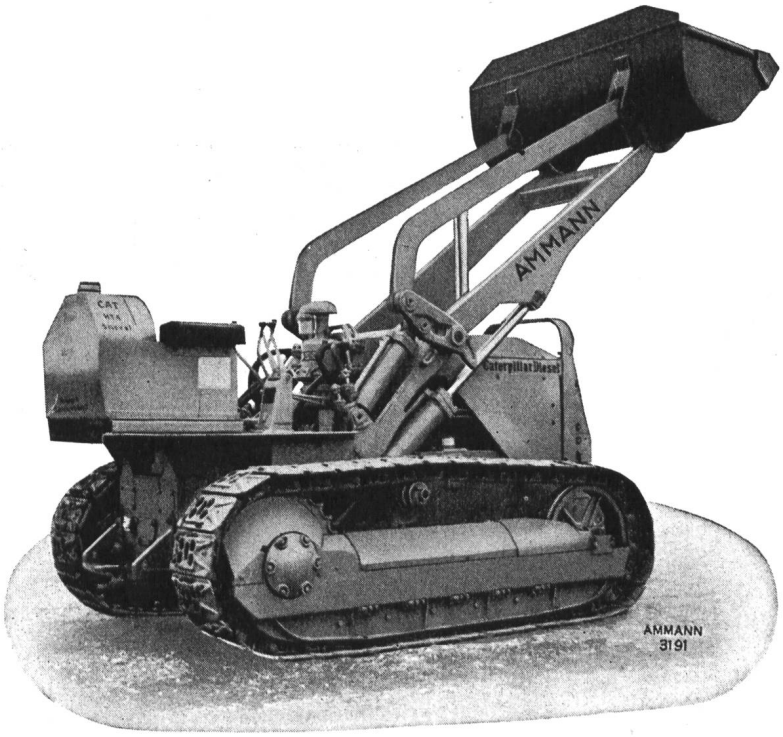
Schutzmarke

TRAXCAVATOR, die robuste, vollhydraulische Front-Ladeschaufel mit Dieselmotor

Typ HT4:	**Motorleistung**	**55 PS**
	Kübelinhalt	**0,95 m³**
Nr. 6	**Motorleistung**	**80 PS**
	Kübelinhalt	**1,5 m³**

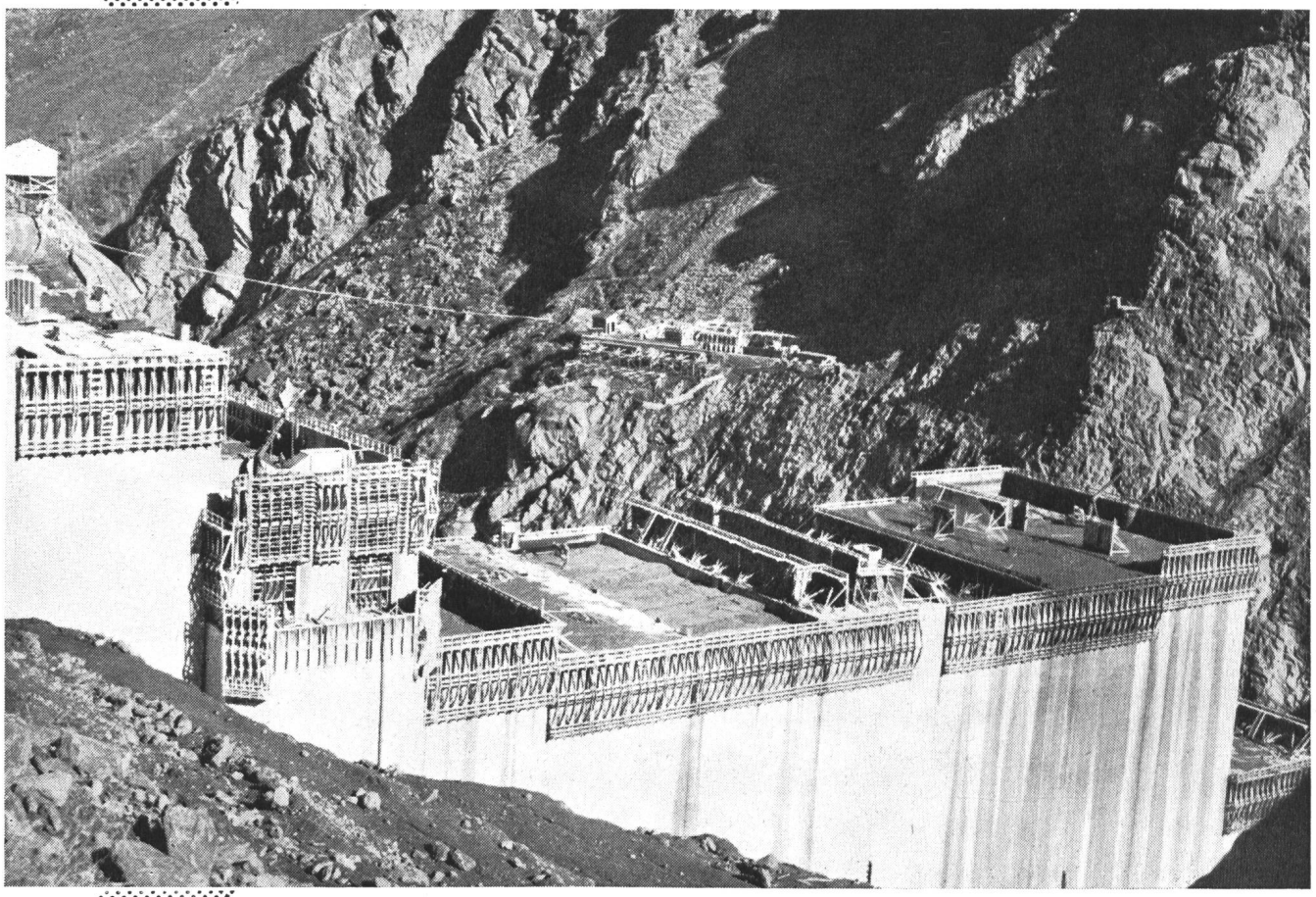
Beide Größen sofort ab Lager lieferbar

Alleinvertretung für die Schweiz, Reparaturwerkstätten-Ersatzteillager!



ULRICH AMMANN

Baumaschinen **Tel. (063) 2 27 02** **Langenthal**



Staumauer Grande Dixence. Betonierung mit Zusatz von BARRA-55-Vinsol
1. Phase: 1 800 000 m³ Beton

BARRA 55 VINSOL

Dieser auf Vinsol-Basis aufgebaute Luftporenbetonzusatz erhöht die Plastizität und Verarbeitbarkeit des Frischbetons, sowie die Wasserdichtigkeit und Frostbeständigkeit des fertigen Bauwerkes ohne die Druckfestigkeit zu beeinflussen. Bei Pump- und Druckbeton ergeben sich keine Verstopfer und kein Entmischen. BARRA-55-Vinsol wird heute hauptsächlich für Staumauern verwendet, dann aber auch für Stollen- und Kanalverkleidungen, Böschungsplatten sowie im Brücken- und Hochbau.

MEYNADIER

MEYNADIER & CIE. AG, ZÜRICH und BERN

2. Die wichtigsten Resultate (Tabelle 2)

a) Das Wehr

Die dargestellten Fassungen zeigen, daß auch in Beharrungsstrecken Lösungen mit festen Wehren möglich sind, vor allem wenn keine starren Hochwasserbedingungen bestehen, so daß extreme Lösungen geformt werden können. Verglichen mit der Tabelle 1 weisen hier aber von den neun untersuchten Fassungen deren fünf bewegliche Wehrteile auf, ein Zeichen, daß in Beharrungsstrecken das bewegliche Wehr die Lösungen erleichtert.

Der maximale spezifische Wehrabfluß von durchschnittlich 15 m^3/sec m entspricht Wehren mit Tosbecken bei loser Sohle.

b) Der Einlauf

Bei den drei Fassungen 8, 10 und 11 mit festen Wehren liegt die Einlauftiefe durchschnittlich ebenfalls um $T_E \cong 1{,}0$ m unter der festen Krone. Die zugehörige Einlaufgeschwindigkeit ist dagegen mit $v_E \cong 1{,}1$ m/sec wesentlich kleiner als bei den Fassungen in latenten Erosionsstrecken. Bei der Kleinfassung 9, ebenfalls mit festem Wehr, beträgt dagegen T_E nur 0,5 m, anderseits $v_E = 1{,}43$ m/sec. Diese Geschwindigkeit ist aber nicht von Bedeutung, weil bei Niederwasser die Stauklappe aufgestellt wird.

Die für die Geschiebeablenkung maßgebende Einlauftiefe T_{E0} ist, verglichen mit den Fassungen 1 bis 6, viel variabler. Wenn man die Fassungen 13 und 16 ausschließt, so ergibt sich aber doch ein Durchschnittswert von $T_{E0} \cong 1{,}85$ m, der mit den Fassungen 1 bis 6 angenähert übereinstimmt (2,1 m). Der Durchschnittswert aller Fassungen (ausgenommen Fassungen 13 und 16) beträgt

$$\underline{T_{E0} \cong 2 \text{ m}}$$

Interessant ist aber vor allem, daß die maßgebende Eintrittsgeschwindigkeit v_{E0} im Mittel, wie bei vier Fassungen der Tabelle 1,

$$\underline{v_{E0} \cong 0{,}78 \text{ m/sec}}$$

beträgt. Dabei weisen die Fassungen 14 und 16 mit $v_{E0} \cong 1{,}2$ m/sec und 10, 11 mit 0,53 m/sec vom Mittelwert stark abweichende Eintrittsgeschwindigkeiten auf.

Die Übereinstimmung von v_{E0} mit vier Fassungen der Tabelle 1 berechtigt zur Feststellung, daß in 10 der untersuchten 16 Fassungen die Eintrittsgeschwindigkeit v_{E0} im Mittel

$$\underline{v_{E0} \cong 0{,}75 \text{ m/sec}}$$

beträgt. Ausgenommen sind dabei die Fassungen 3, 4, 14, 16 und 10, 11. Die Einlaufgeschwindigkeit, definiert mit

$$v_{E0} = \frac{Q_A}{T_{E0} \cdot B_E} \cong 0{,}75 \text{ m/sec}$$

ist eine für die Dimensionierung verwendbare Größe. Es ist zu beachten, daß auch die Fassungen 9 und 13 trotz abweichenden Tiefen T_{E0} ebenfalls dem Mittelwert entsprechende v_{E0}-Werte aufweisen.

Das Verhältnis B_E durch Q_A ist, wie die Tiefen, bedeutend variabler als bei den Fassungen 1 bis 6. Der Durchschnittswert beträgt

$$B_E \cong 0{,}8 \cdot Q_A$$

und deutet im Vergleich mit den Fassungen 1 bis 6 auf größere Breiten hin.

Die Beispiele mit Abwinklungen (β, γ) weisen ähnliche Winkel auf wie diejenigen der Tabelle 1, im Mittel hier 30 bis 40°. Auch bei diesen Fassungen wird zweckmäßig der Kopf der Trennmauer um das Maß der Einlaufbreite flußaufwärts der Wehraxe gewählt. In kritischen Verhältnissen kann die Trennmauer gegen die Flußmitte ausgekrümmt werden.

C. Die Fassung 17, an der Rhone in Lavey, ein Spezialfall in latenter Erosionsstrecke

1. Flußbauliches

In der Tabelle 2 ist noch die Fassung 17 an der Rhone aufgeführt. Es handelt sich um eine große Flußfassung, bei welcher der Vorteil einer latenten Erosionsstrecke für eine große Ausbauwassermenge $Q_A = Q_o$, mit Aufstau von Abflußmengen im Bereich $Q > Q_o$, voll ausgenützt wird.

Die Steilstrecke ist eine Folge des groben Geschiebes des Barthélemy-Baches und weist ein Gefälle von 6‰ auf. An ihrem oberen Ende befindet sich das alte Wehr Bois-Noir, das auch als Fixpunkt für die oberhalb liegende Beharrungsstrecke der Rhone mit nur 1,6‰ Gefälle dient. Die Geschiebefunktion der Beharrungsstrecke wurde im Modellversuch ermittelt. Sie ergab $Q_o \cong 200$ m^3/sec und ein mittleres jährliches Geschiebetransportvermögen von 370 000 m^3. Das ist also die Zufuhr in die Steilstrecke.

Als Fassungsstelle war in der Steilstrecke, ca. 900 m unterhalb des Fixpunktes, ein sehr günstiges Flußknie ($\alpha = 73°$) gegeben, indem die Rhone, bedingt durch den Schuttkegel des Barthélemy-Baches, an die Felswand am Gegenufer prallt und dort fast rechtwinklig abgelenkt wird. Die Ausbauwassermenge Q_A beträgt 200 m^3/sec, ist somit gleich groß wie die Grenzwassermenge Q_o für den Beginn des Geschiebetriebes. Ohne zeitweise Retention von Geschiebe in der Steilstrecke zwischen Wehr und oberem Fixpunkt hätte im Bereich $Q \geqq Q_o$ bis $2\ Q_A = 2\ Q_o$, also von 200 bis 400 m^3/sec, die Restriktion der Betriebswassermenge auf $\frac{1}{2}$ Q in Kauf genommen werden müssen. Durch sehr eingehende Versuche mit zeitlich richtiger Nachbildung kritischer Abflußperioden konnte nachgewiesen werden, daß im Bereich $Q > Q_x = 2\,Q_o$ das überschüssige Transportvermögen genügt, um die periodischen Retentionen im Stauraum wieder abzuspülen. Die Ausbauwassermenge

kann deshalb konstant gefaßt werden, der Stau muß von $Q = Q_0$ bis $2\ Q_0$ langsam um 2 m auf den Normalabfluß bei Abflußmengen $Q > Q_x = 400\ m^3/sec$ gesenkt werden. Die Fassung ist das Beispiel einer bestmöglichen Ausnützung der latenten Erosionsstrecke bei sehr günstiger Fassungsstelle an der Außenseite einer knieförmigen Krümmung. (Man beachte das Umschlagbild.)

2. Die Fassung

Die Anordnung der Fassung ist in Fig. 20 dargestellt, die Photos 35 bis 37 zeigen Grundriß und Ansicht.

a) Wehr

Es wurden drei Öffnungen mit 10 m Schützenhöhe gebaut. Eine dieser Öffnungen schließt das Vorbecken und dient normal als Spülschütze. Sie kann jedoch bei Höchsthochwasser auch geöffnet werden, ohne die Geschiebeablenkung zu beeinträchtigen. Der maximale spezifische Abfluß beträgt 31 m^3/sec m. Diese große Belastung in losem Material erforderte ein 5,5 m unter der Sohle im Unterwasser liegendes festes Tosbecken von 26,5 m Länge, gemessen von der Schützenaxe.

b) Der Einlauf

Zu den Angaben der Tabelle 2 sind einige Bemerkungen erforderlich. Als Einlaufbreite $B_E = 40$ m ist geschiebetechnisch nach Fig. 20 die Breite vom Ufer zum Kopf der Trennmauer zu rechnen. Es wurde keine eigentliche Einlaufschwelle eingebaut, wohl aber eine feste Block-

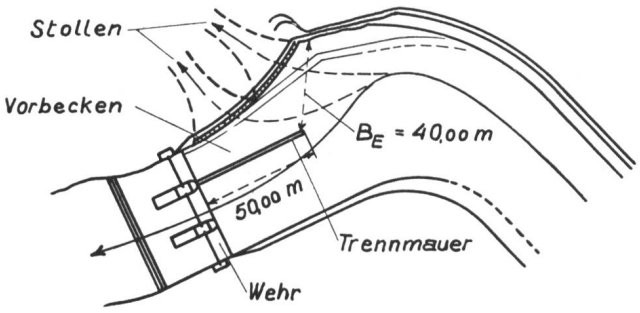


Fig. 20

wurfsohle. Die Eintrittsgeschwindigkeit an dieser Stelle beträgt bei der für die Ablenkung maßgebenden Abflußmenge von $Q_x = 400\ m^3/sec$, $v_{E_x} = 0{,}72$ m/sec, ist also normal. Die günstige Fassungsstelle mit großer maßgebender Abflußtiefe bei $Q_x = 400\ m^3/sec$ an der Außenseite des Knies ermöglichte die relativ schmale Einlaufbreite $B_E = 0{,}2 \cdot Q_A$.

Diese Feststellung gibt einen weiteren Hinweis, daß bei Projektierungen der Eintrittsgeschwindigkeit v_{E0} resp. v_{Ex} mehr Gewicht beizumessen ist als dem mittleren Verhältnis B_E/Q_A.

Es ist zu beachten, daß der Kopf der Trennmauer auch ungefähr um die Einlaufbreite oberhalb der Wehraxe liegt. Ferner soll noch erwähnt werden, daß die Stolleneinläufe innerhalb des Vorbeckens etwas erhöht ange-

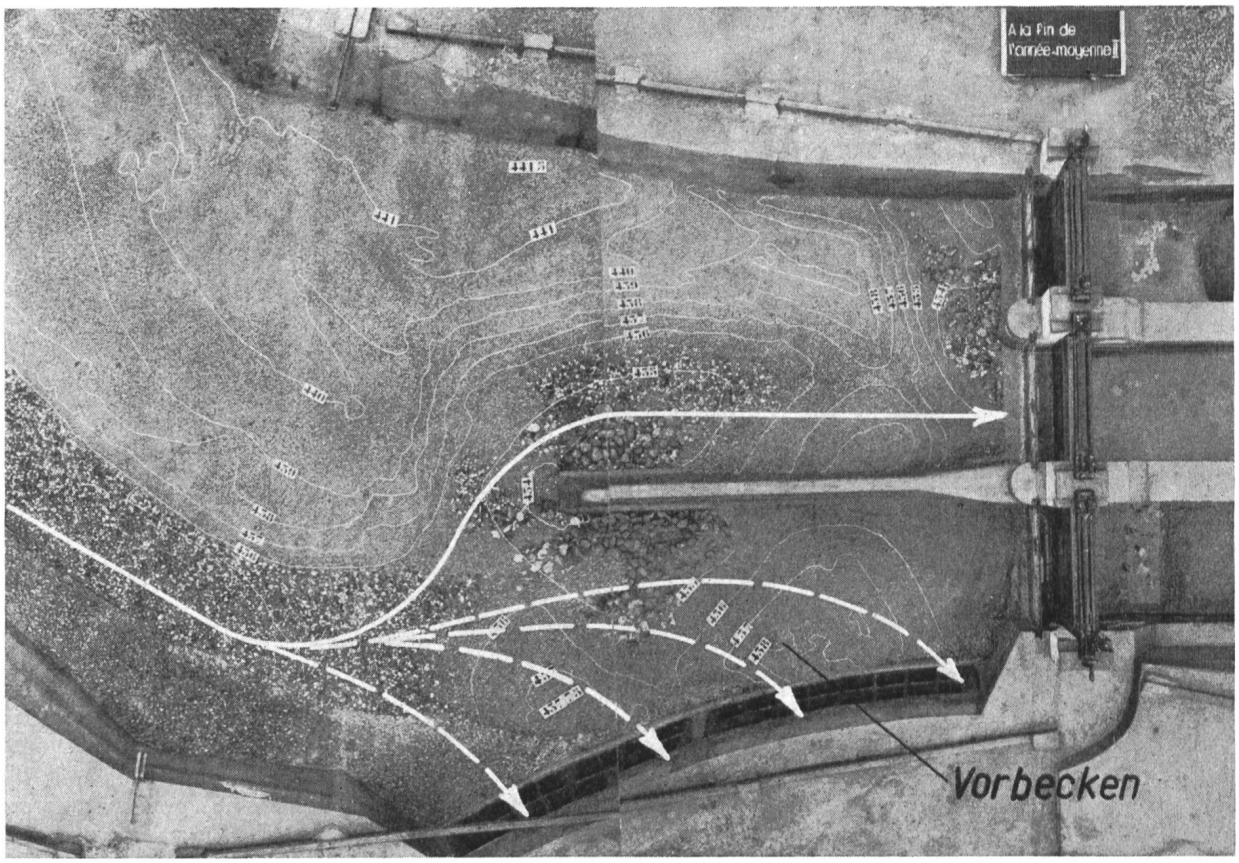


Photo 35

ordnet wurden mit einer Eintrittsgeschwindigkeit von 0,9 m/sec in den Stollen. Im Fall vorübergehender Ablagerungen im Vorbecken wird so der Eintritt von Geschiebe in den Stollen verhindert. Obschon die Art der Weiterführung des Wassers nach dem Einlauf in das Vorbecken geschiebetechnisch weniger von Bedeutung ist, sollte doch allgemein auf möglichst kleine Geschwindigkeiten dimensioniert werden.

D. Zusammenfassende quantitative Beurteilung aller untersuchten Fassungen und Richtlinien

Es dürfte verständlich sein, daß die nach dem Charakter der Flußstrecke, der Fassungsstelle und auch der vorgeschriebenen Bedingungen so verschiedenen Fassungen keine einwandfreien Gesetzmäßigkeiten aufweisen können. Trotzdem sollen, soweit es die untersuchten Fassungen erlauben, wenn auch nur angenäherte quantitative Richtlinien gegeben werden. Dazu besteht ja auch die Möglichkeit der direkten oder nach der Ähnlichkeit gegebenen Übertragung der dargestellten Lösungen auf passende Fälle.

1. Das Wehr

Für das Wehr betragen die spezifischen Abflüsse bei Höchsthochwasser im Mittel:

a) Mit Tosbecken in losem Material 15 m^3/sec m

b) Im guten Fels zeigen vorhandene natürliche Abstürze für die seltenen Höchsthochwasser Belastungen bis 30 m^3/sec m

2. Der Einlauf

a) Die Einlaufgeschwindigkeit

Beim Abfluß der maßgebenden Abflußmenge Q_0 (evtl. Q_x) hat sich nach den Untersuchungen gezeigt, daß die Einlaufgeschwindigkeit v_{E0}, definiert durch

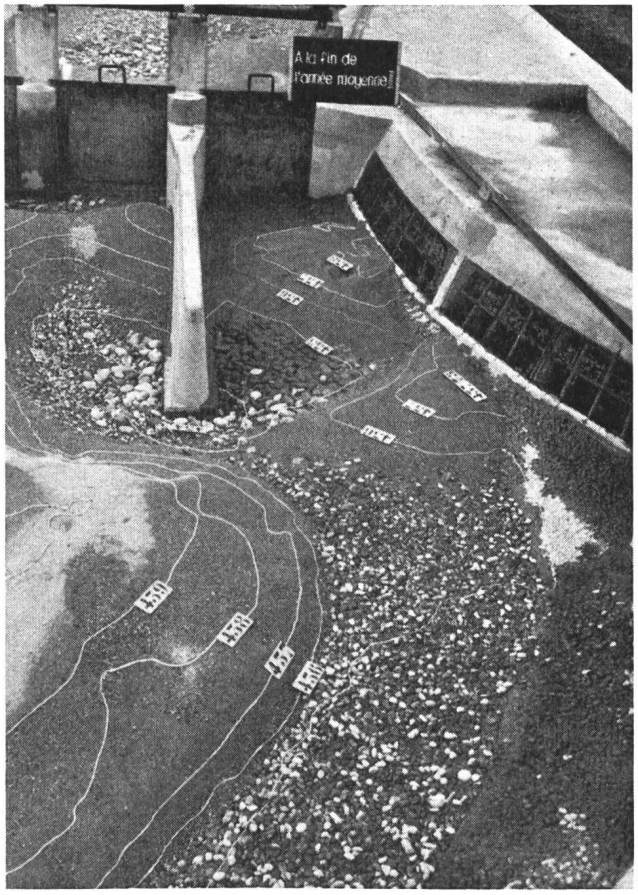


Photo 36

$$v_{E0} = \frac{Q_A}{T_{E0} \cdot B_E} \qquad (Q_A \leqq \tfrac{1}{2} Q_0)$$

kleiner als 1 m/sec, im Mittel etwa

$$\underline{v_{E0} \cong 0{,}75 \text{ m/sec}}$$

betragen muß. Diese Geschwindigkeit ist eine rechne-

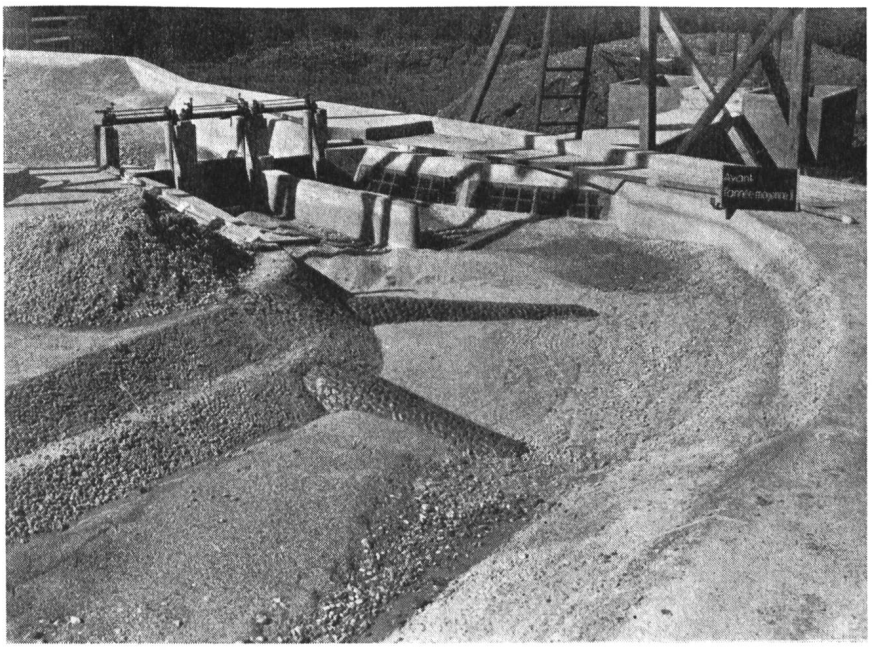


Photo 37

rische Größe der Versuchsauswertung. Gegeben sind Q_A und B_E, gemessen wurde T_{E0}, die Wassertiefe im Vorbecken bezogen auf die Höhe der Einlaufschwelle.

In Fig. 21 sind in Funktion von B_E die Werte $\frac{Q_A}{T_{E_0}}$ aufgezeichnet, deren Quotient die Eintrittsgeschwindigkeit v_{E0} ist. Von den 17 untersuchten Fassungen entsprechen 11 angenähert der mittleren Geschwindigkeit $v_{E0} \cong$ 0,75 m/sec.

Bei den zwei Fassungen 10 und 11 beträgt $v_{E0} \cong$ 0,55 m/sec, bei vier Fassungen (14, 3, 4 und 16) dagegen $v_{E0} \cong$ 1,1 m/sec. Diese Abweichungen lassen sich einfach deuten. Die Fassungen 10 und 11 an der Sihl und Emme sind Fälle mit festen Wehren bei nur schwacher Konzentration der Abflußmengen auf die infolge kleiner Ausbauwassermengen schmalen Einläufe. Anderseits sind 14, 3, 4 und auch 16 ausgesprochene Extremlösungen, in denen der Gesamtabfluß auf den Einlaufquerschnitt konzentriert ist, bei relativ großen Ausbauwassermengen und deshalb breiten Einläufen.

b) Die Einlauftiefen T_{E_0} und T_E und die Einlaufbreite B_E

Nachdem die mittlere Einlaufgeschwindigkeit v_{E0} als maßgebende Größe gewählt werden kann, ist, bei gegebener Ausbauwassermenge Q_A, die erforderliche Einlauffläche, beim Abfluß von Q_o, F_{E0} und damit das Produkt $T_{E0} \cdot B_E$ vorgeschrieben:

$$F_{E0} = T_{E0} \cdot B_E = \frac{Q_A}{v_{E0}}$$

Es fragt sich aber, wie T_{E0} und B_E zu wählen sind.

Von den beiden Längen ist die Tiefe T_{E0} wenigstens teilweise gegeben. Sie setzt sich nämlich zusammen aus der Tiefe T_E (Einlaufschwelle), der Abflußtiefe H_o, der Geschwindigkeitshöhe $\frac{v_o^2}{2g}$ und eventuell einer durch Stoß bedingten Höhe

$$T_{E0} = T_E + H_{E0} = T_E + H_o + \frac{v_o^2}{2g} + \text{(event. Stoß-Höhe)}$$

In den Versuchen wurde T_{E0} gemessen, ferner bei festen Wehren T_E, die Tiefe der Einlaufschwelle unter der festen Krone des Wehres, die angenähert mit der mittleren Sohlenhöhe im Bereich der Fassung übereinstimmt. In Fig. 22 sind aus den Versuchen mit festen Wehren die Tiefen T_E in Funktion von T_{E0} dargestellt. Die große Punktgruppe bildet den Wert $T_E \cong$ 1,2 m. Die Fassungen 9 und 10 deuten aber eine verständliche Abnahme der zulässigen Tiefe T_E im Bereich kleiner T_{E0} an. Es dürfte richtig sein, die Tiefe T_E für die Berechnung der erforderlichen Breite nach dem gestrichelten Funktionsverlauf zu wählen, bei der Ausführung dagegen eher etwas tiefer zu bleiben, um später aufsetzen zu können.

Mit den Tiefen T_E ist in Fig. 22 aber auch die Resttiefe H_{E0} gegeben. Da bei Dimensionierungen nach der vorgeschriebenen Abflußmengenkurve H_{E0} angenähert gegeben sein wird, können nach Fig. 22 T_{E0} und T_E bestimmt werden. Die Fig. 23 erleichtert das Aufsuchen von Lösungen, indem für gegebenes H_{E0} die Tiefen T_{E0} und T_E abgelesen werden können.

Die Fig. 23 kann aber auch für die Dimensionierung bei beweglichen Wehrteilen verwendet werden. Die vorgeschriebene Abflußmengenkurve schreibt ja auch beim beweglichen Wehr Wasserspiegel-, Energie- und Sohlenhöhe und damit H_{E0} vor. Bei extremen Anordnungen kann noch ein Stoßzuschlag berücksichtigt werden. Beim beweglichen Wehr ist T_E als Tiefe der Einlaufschwelle

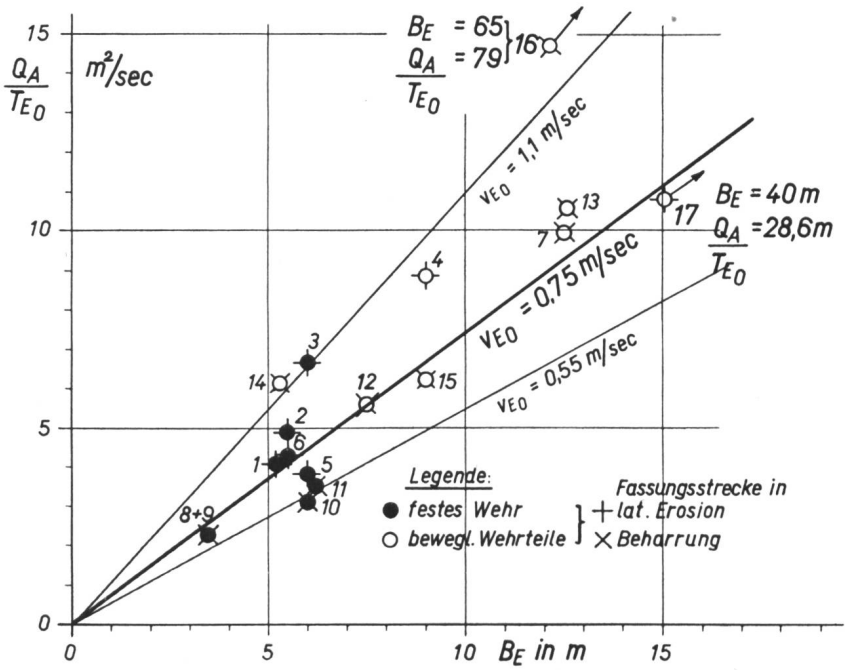


Fig. 21

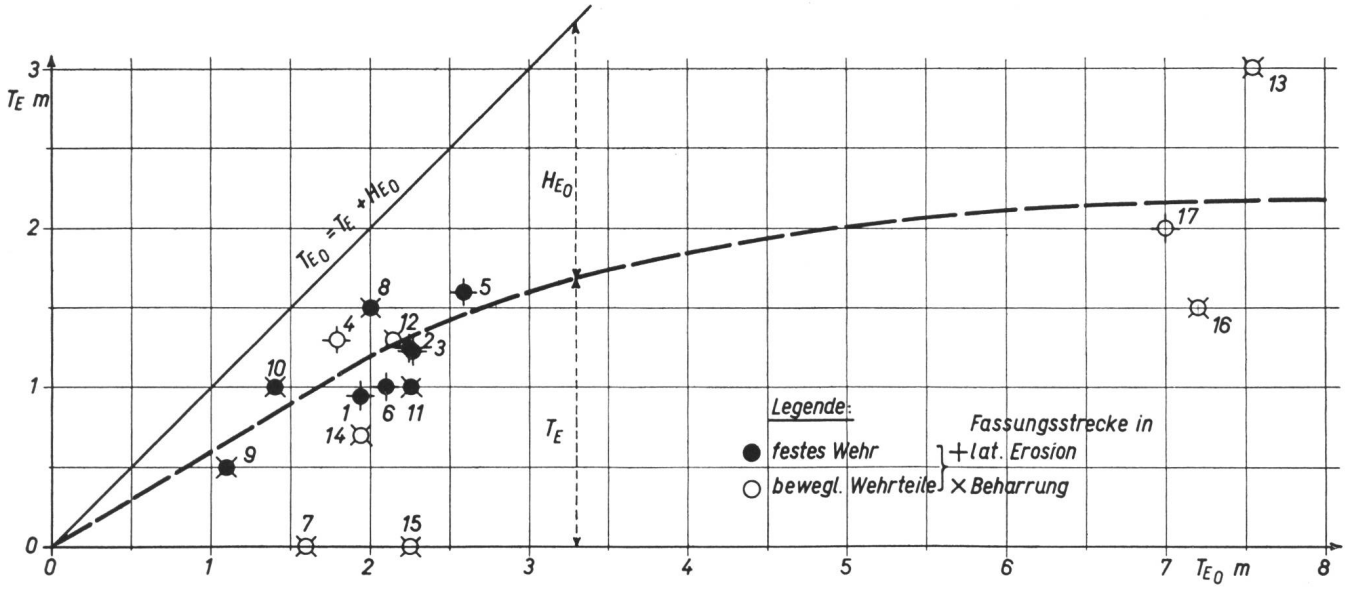


Fig. 22

unter der mittleren vorgeschriebenen Sohlenlage bei der Fassungsstelle zu verstehen. In der Tabelle 3 (Seite 231) sind für die untersuchten Fassungen mit beweglichen Wehren aus den mittleren Sohlenlagen die T_E-Werte zusammengestellt. Darnach liegt in zwei Fällen die Einlaufschwelle ungefähr auf Sohlenhöhe, bei fünf Fassungen sind dagegen normale Kolktiefen ausgenützt. In den Fig. 22 und 23 sind deshalb auch die Fassungen mit beweglichen Wehren eingezeichnet. Die Fassungen 13, 16 und 17 mit großen T_{E0}-Tiefen ermöglichen die Extrapolation auf große T_{E0}-Werte und zeigen, daß etwa mit $T_E \cong$ 2,2 m eine Grenze gegeben ist.

c) Anordnung

Bei möglicher freier Wahl sollen die Winkel β und γ (Fig. 19) zwischen 30 und 40° gewählt werden. Der Kopf der Trennmauer wird zweckmäßig um das Maß der Einlaufbreite oberhalb der Wehraxe gewählt. Bei Fels oder künstlichen Rampen soll vor der Einlaufschwelle eine Kolkwanne von ca. 1 m Tiefe künstlich geformt werden.

III. ZUSAMMENFASSUNG UND VORGEHEN BEIM ENTWERFEN EINER FASSUNG

A. Grundsätzliche Feststellungen

Die vielen Faktoren, die bei der Anordnung einer Wasserfassung im geschiebeführenden Fluß berücksichtigt werden müssen, erfordern möglichst gute Grundlagen.

1. Die Ausbauwassermenge Q_A

Die Ausbauwassermenge Q_A kann als gegebene Größe betrachtet werden. Sie wird nach der Wasserführung des Flusses in Verbindung mit der wirtschaftlichen Gestaltung der Gesamtanlage bestimmt. Sie kann aber von der Fassungsmöglichkeit abhängen, oder die Fassung kann zeitweise Restriktionen für die Betriebswassermenge bedingen, die die wirtschaftlichste Ausbauwassermenge beeinflussen.

2. Der Charakter der Fassungsstrecke

Entscheidend für die Anordnung einer Fassung ist der flußbauliche Charakter der Fassungsstrecke. Kann die Strecke gewählt werden, so ist eine Steilstrecke in latenter Erosion am günstigsten. Sie ermöglicht die größten Betriebs- und Ausbauwassermengen, erfordert wenig oder keine Flußkorrektionen und ist für die Anordnung der Spülungen günstig. In der Steilstrecke im Fels können zudem die künstlichen Bauwerke einfach gestaltet werden.

Günstig sind auch Erosionsstrecken, weil die flußbaulichen Bedingungen leichter zu erfüllen sind und damit die Fassung freier gestalten lassen. Die Fassung bildet in solchen Strecken auch meist einen flußbaulich erwünschten Fixpunkt.

In den Strecken im Beharrungszustand muß die Fassung sehr sorgfältig in die Verhältnisse eingepaßt werden. Jede Maßnahme wirkt sich über große Strecken aus, erfordert daher eine genaue flußbauliche Überprüfung. Meist sind größere Flußkorrektionen nötig, die sich nur bei Flußkraftwerken mit großen Ausbauwassermengen lohnen.

Fassungen in Alluvionsstrecken sollten vermieden werden, sofern nicht mit dem Bau der Fassung gleichzeitig eine allgemeine Flußkorrektion bezweckt ist. Günstig ist dagegen die Anordnung einer Fassung beim Übergang

aus einer wilden Alluvionsebene in eine Steilstrecke, sofern für lange Zeit mit der natürlichen Geschieberetention gerechnet werden kann.

3. Die Grenzabflußmenge Q_0 für den Beginn des Geschiebetriebs

In allen Fällen ist die Grenzabflußmenge Q_0, bei der der Geschiebetrieb beginnt, eine maßgebende Größe für die Beurteilung der Fassungsmöglichkeit und für die Anordnung der Fassung. Ist die Ausbauwassermenge Q_A gegeben, so liefert das Verhältnis dieser Größe zur Grenzabflußmenge Q_0 ein gutes Kriterium für die Beurteilung.

Ist die Ausbauwassermenge nur ein Bruchteil der Grenzabflußmenge, $Q_A < (\frac{1}{4} \div \frac{1}{3})\, Q_0$, so wird jede auch nur angenähert nach den beschriebenen Grundsätzen und Typen angeordnete Fassung befriedigend funktionieren. Werden die bestehenden Abflußverhältnisse im Bereich $Q > Q_0$ bis zum Höchsthochwasser eingehalten, so sind keine wesentlichen flußbaulichen Auswirkungen zu befürchten.

Wird die Ausbauwassermenge gegen $Q_A \leqq \frac{1}{2} Q_0$ gesteigert, so kann noch vorausgesagt werden, daß bei richtiger Anordnung der Fassung im Bereich $Q > Q_A$ die Ausbauwassermenge dauernd gefaßt werden kann. Eine genaue Bestimmung von Q_0 und der flußbaulichen Auswirkungen ist vor allem in der Beharrungsstrecke erforderlich.

Beträgt die Ausbauwassermenge $Q_A \geqq \frac{1}{2} Q_0$, so muß in Beharrungs- und Erosionsstrecken im Bereich der Abflußmengen $Q = Q_0$ bis $2\,Q_A$ mit einer Reduktion der Betriebswassermenge auf $Q_B = \frac{1}{2} Q$ gerechnet werden. Nur in der Strecke in latenter Erosion können unter Umständen, unter Einstau mit zeitweiser Geschieberetention im Stauraum, alle Abflußmengen bis zur Ausbauwassermenge dauernd gefaßt werden. Diese Fälle müssen sehr sorgfältig überprüft werden, vor allem wenn es sich um Hauptfassungen an Gebirgsflüssen für Kraftwerke mit großen Ausbauwassermengen handelt. Wird $Q_A \geqq Q_0$ gewählt, so erfaßt die Restriktion der Betriebswassermenge auf $Q_B = \frac{1}{2} Q$ im Bereich Q_0 bis $2\,Q_A$ einen entsprechend größeren Bereich der verfügbaren Abflußmengen. Schließlich kann die Grenze erreicht werden, bei der Q_A nur noch bei Hochwasser gefaßt werden könnte, die Geschiebebedingungen würden zum entscheidenden Faktor für die wirtschaftliche Ausbauwassermenge.

Mit diesen Grundlagen läßt sich also die Möglichkeit des Baues einer einwandfrei funktionierenden Fassung rasch überblicken. Damit ist aber auch ein Urteil über die Notwendigkeit der Beschaffung genauer Grundlagen für die flußbauliche Beurteilung gegeben.

4. Die günstige Fassungsstelle

Der Bau einer Fassung wird in jedem Fall erleichtert, wenn eine günstige Fassungsstelle gewählt werden kann. Es sind dies die natürlichen Flußkrümmungen, an deren Außenseite die Fassung angeordnet werden muß. Besonders wichtig ist die Krümmung in der Beharrungsstrecke und wenn $Q_A \geqq \frac{1}{2} Q_0$ beträgt, denn in der Geraden werden für solche Fassungen nur Lösungen mit kostspieligen Flußkorrektionen möglich sein. Krümmungen sollten daher auch ausgenützt werden, wenn die Außenseite nicht auf der gewünschten Seite liegt. Das Wasser muß an der Außenseite gefaßt und anschließend auf die gewünschte Seite geleitet werden.

B. Das Entwerfen einer Fassung

Die Zusammenfassung der quantitativen Richtlinien soll mit einem Fassungsentwurf verbunden werden. Es wird damit auch gezeigt, wie mit dem Entstehen des Entwurfes die verschiedenen Bedingungen eingefügt werden müssen, um abtastend zur eigentlichen Lösung zu gelangen.

Es wird vorausgesetzt, das Grundsätzliche sei bekannt, also der Charakter der Fassungsstrecke, die Wassermengen Q_0 und Q_A und eine günstige Stelle, die wenigstens angenähert auch der gewünschten Fassungskote entspricht. Gegeben sei ferner die Abflußmengenkurve dieser Stelle, deren Bereich $Q > Q_0$, eventuell $Q > Q_x$ auch nach dem Bau der Fassung eingehalten werden muß. Abflußmengenkurve, Q_0 und Q_A bestimmen die Betriebswassermenge (Fig. 5, evtl. 11) und lassen erkennen, ob ohne oder mit Restriktionen, eventuell mit Einstau geschiebeführender Abflußmengen genutzt werden muß. Fassungsstrecke und Fassungsstelle müssen der gewünschten Nutzung entsprechen. Diese Überprüfung wird schon darauf hinweisen, ob besser eine andere Stelle gewählt wird, oder ob Flußkorrektionen notwendig werden.

1. Der Einlauf

Das wichtigste Ergebnis der untersuchten Fassungen ist die vorgeschriebene Einlaufgeschwindigkeit v_{E0} (Fig. 21) bei der maßgebenden Abflußmenge Q_0 (eventuell Q_x), bei der die Geschiebeablenkung einsetzen muß. Mit dieser Geschwindigkeit ist die Einlauffläche beim Abfluß von Q_0 definiert durch

$$F_{E0} = \frac{Q_A}{v_{E0}} \qquad (Q_A \leqq \tfrac{1}{2} Q_0)$$

oder bei einer Fassung mit Restriktionen:

$$F_{E0} = \frac{Q_0}{2 \cdot v_{E0}} \qquad \left(Q_A > \frac{Q_0}{2} \right)$$

das Produkt $T_{E0} \cdot B_E$ ist also vorgeschrieben.

Nach den untersuchten Fassungen beträgt im Mittel

$$v_{E0} = 0{,}75 \text{ m/sec}$$

Bei extremen Fällen kann, im Sinne der Ausnahmen (Fig. 21), $v_{E0} = 0{,}5$ bis $1{,}1$ m/sec gewählt werden.

Mittlere Sohle und die Energiehöhe H_{E0} beim Abfluß von Q_0 sind gemäß Abflußmengenkurve bekannt, so daß nach Fig. 23 die Tiefen T_E und T_{E0} gegeben sind. Mit diesen Tiefen (Fig. 23) ist ein weiteres wesentliches Ergebnis der Untersuchungen festgehalten, daß nämlich der

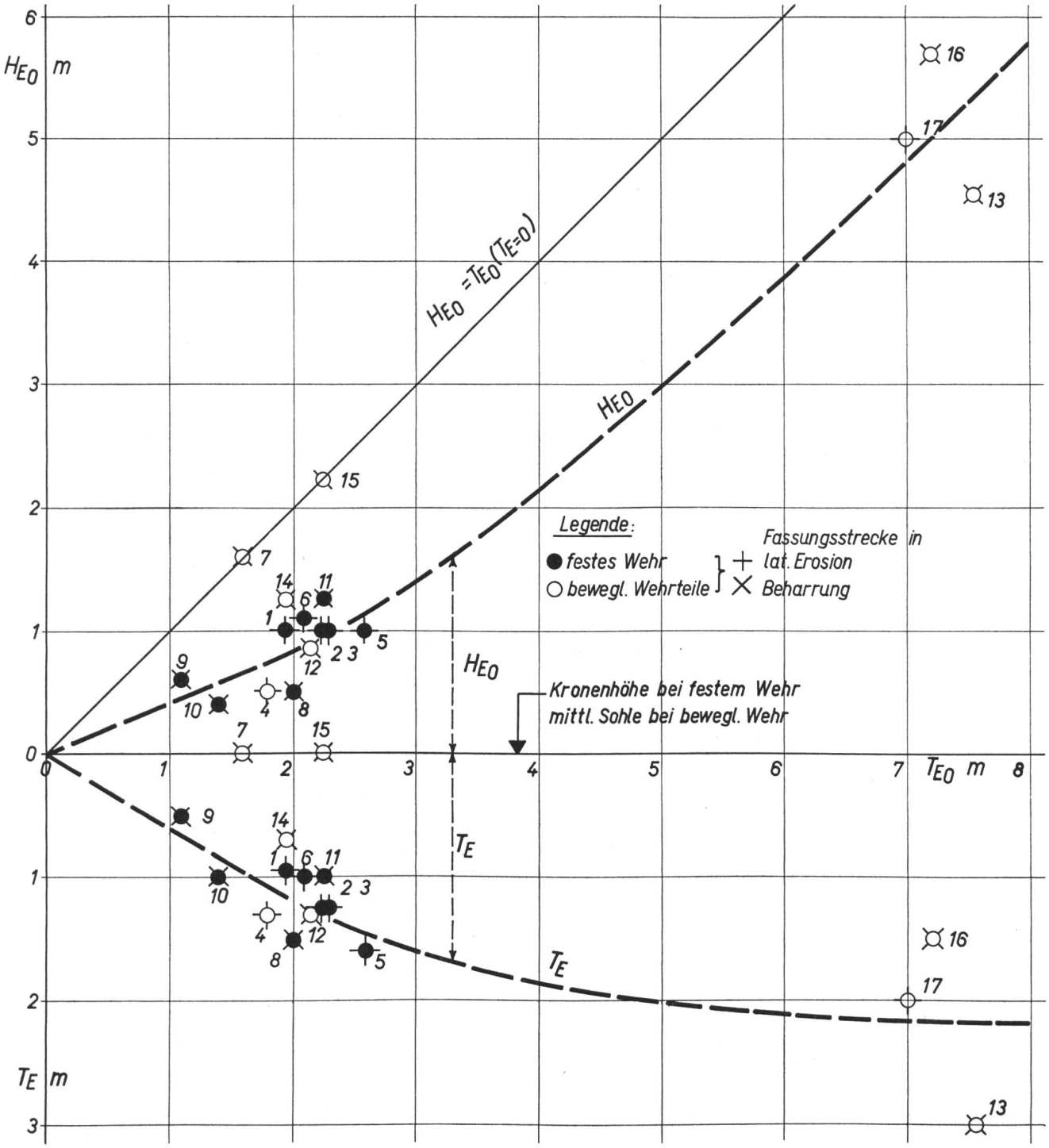


Fig. 23

natürliche Kolk vor dem Einlauf ausgenützt werden soll, um die Einlaufbreite auf ein Minimum zu reduzieren. Die Ablenkwirkung erfaßt nämlich einen schmalen Einlauf viel leichter als einen breiten. Mit der Tiefe T_{E0} ist die Einlaufbreite bestimmt.

Die Anordnung der Fassung kann je nach Art der Fassungsstrecke und der Fassungsstelle mit Hilfe der beschriebenen Beispiele skizziert werden. Ist eine extreme Konzentration der Abflußmengen auf den Einlauf möglich, so kann mit Hilfe des Impulssatzes ein Zuschlag zur Höhe H_{E0} gerechnet werden, der nach Fig. 23 etwas größere Tiefen und damit eine verminderte Einlaufbreite ermöglicht.

Der Einlauf ist somit der zuerst zu bestimmende Teil einer Fassung. Die Skizze der Anordnung wird anderseits in die Fassungsstelle passende Wehrbreiten ergeben.

Im speziellen Fall des Einstaues geschiebeführender Abflußmengen ist an Stelle von Q_0 die Abflußmenge Q_x als maßgebende Wassermenge zu betrachten.

2. Das Wehr

Es wird in jedem Fall vorerst eine Lösung ohne Flußkorrektionen im Oberwasser anzustreben sein. Dies hat bei allen Wehren in geschiebeführenden Flüssen zur Folge, daß die größeren Abflußmengen ($Q > Q_0$, evtl. $Q > Q_x$) ungestaut nach der gegebenen Abflußmengenkurve, resp. nach den entsprechenden Energiehöhen abfließen müssen. Mit der gegebenen Abflußmengenkurve und den Wassermengen Q_0 und Q_A ist der Wehrabfluß in Funktion von Q und damit in Abhängigkeit von den Energiehöhen im Oberwasser bekannt (Fig. 18). Diese flußbaulichen Bedingungen bilden im Bereich $Q > Q_0$ (evtl. $Q > Q_x$) die Grundlage für die Dimensionierung des Wehres.

Für eine erste Näherung soll ein *festes Wehr* mit horizontaler Krone angenommen werden. Mit der vorgeschriebenen Energiehöhe für Q_{max} und für $Q_W = Q_{max} - Q_A$ ist für die skizzierte passende Wehrbreite B_W eine erforderliche Kronenhöhe gegeben. Dieselbe Rechnung für andere Abflußmengen Q_W im Bereich $Q > Q_0$ (evtl. $Q > Q_x$), evtl. auch mit andern Wehrbreiten, wird zeigen, ob unter Berücksichtigung der Einlaufbreite und des Trennpfeilers von 2 bis 4 m Stärke, *nach der Breite* beurteilt, eine Lösung mit festem Wehr in die gegebene Fassungsstelle paßt. Wenn ja, so kann eventuell ein Wehr mit schiefer Krone noch eine genauere Einhaltung der vorgeschriebenen Abflußmengenkurve ermöglichen mit erwünschter Konzentration des Wehrabflusses bei der Trennmauer. Wenn nein, so wird eine gleiche Rechnung für verschiedene Kombinationen von festen und beweglichen Wehrteilen durchzuführen sein, bis eine passende Lösung gefunden ist.

Wesentlich ist aber vor allem eine Beurteilung auch *nach der Höhe* der berechneten festen Krone. Es ist zu beachten, daß beim *festen Wehr* die berechneten Kronenhöhen näherungsweise auch die maximalen Stauspiegel im Bereich $Q < Q_0$ (evtl. $Q < Q_x$) sind. Genauer betrachtet, im Normalfall $Q_A < Q_0$, sind es die Stauspiegel im Bereich $Q \leqq Q_A$, denn zwischen Q_A und Q_0 läuft schon Wasser über das Wehr (Fig. 18), so daß die Spiegel bereits etwas über der festen Krone des Wehres stehen. Die Rechnung wird also auch zeigen, ob im Bereich $Q < Q_0$ an der gewählten Stelle ein gewünschter Stau mit *festem Wehr* erreicht werden kann. Die Rechnungen mit verschiedenen Breiten werden den Einfluß der Wehrbreite auf diese für den Betrieb maßgebende Stauhöhe zeigen. Bei schiefer Krone ist der tiefste Punkt bei der Trennmauer maßgebend. Paßt eine Lösung nach Stau und Breite, so ist das feste Wehr möglich. Ist der Stau zu niedrig, so ist vielleicht weiter flußaufwärts eine günstige Fassungsstelle gegeben. Muß die gewählte Stelle beibehalten werden, so kann in der Beharrungsstrecke mit Flußkorrektion im Oberwasser fehlende Höhe gewonnen werden, während in der latenten Erosionsstrecke eventuell der beliebige Aufstau bis $Q_x > Q_0$ eine passende Lösung ermöglicht. Mit dem Stau bis Q_x muß aber der feste Wehrteil auf diesen Stau gehoben, also mit einem beweglichen Wehrteil gerechnet werden.

Bei der Beurteilung muß ferner, vor allem in der Beharrungsstrecke, auch das erforderliche *Spülgefälle* für das Vorbecken mitberücksichtigt werden. Die Spülung erfordert bei Vorbeckenlängen von 10 bis 15 m eine Höhe von 1,5 bis 2 m zwischen Einlaufschwelle und *Beharrungssohle* im Unterwasser des Wehres. In der Beharrungsstrecke wird diese Höhe fehlen. Es wird daher abzuwägen sein, ob sie durch eine verstärkte Korrektion im Unterwasser oder im Oberwasser gewonnen werden soll. Ersteres kann vorteilhaft sein, weil ohnehin das Unterwasser entsprechend $Q - Q_A$ zu korrigieren sein wird, die verstärkte Korrektion im Oberwasser wird anderseits entsprechend höhere Stauspiegel, also einen Gefällsgewinn mit sich bringen.

3. Ergänzende Bauten, Nachrechnung

Ist für Einlauf und Wehr eine passende Anordnung gefunden, so ist in der Geraden und in schwachen Krümmungen im Oberwasser eine Buhne Richtung Mitte Einlauf vorzusehen. Die Höhe ist so zu wählen, daß sie im Bereich der Abflußmengen um Q_0 (evtl. Q_x) den Abfluß möglichst auf den Einlauf lenkt.

In Wildbächen mit stoßweisem Geschiebetrieb soll eine obere Schwelle mit Rampe gegen den Einlauf eingebaut werden. Der Abfluß über die Rampe wird schießend sein, der Wassersprung infolge Einstau durch das Wehr muß bei den kleinen und mittleren Abflußmengen oberhalb des Einlaufs liegen, die Hochwasser sollen schießend abfließen. Auf der Rampe ist auf der Fassungsseite eine niedere Längsschwelle zur Abweisung grober Einzelblöcke zweckmäßig. Bei Fels oder fester, künstlicher Rampe muß vor dem Einlauf die natürliche Kolkform bis ca. 1 m unter die Einlaufschwelle künstlich ausgebildet werden.

Eine Tauchwand über der Einlaufschwelle, die Spülrinne im Vorbecken mit Spülschütze ergänzen die Fassung. Die Spülschütze soll groß dimensioniert werden, etwa so, daß Q_A mit freiem Spiegel ungestaut schießend ausfließen kann.

Nachdem die Fassung so geformt ist, muß für alle Abflußmengen eine sorgfältige hydraulische und geschiebetechnische Berechnung der Abflußvorgänge durchgeführt werden. Sie liefert die für die Fassung maßgebenden Stauspiegel (Energiehöhen) im Vorbecken und ermöglicht eine verfeinerte Bestimmung der Tiefen T_{E0}, T_E und der Einlaufbreite B_E. Es können die erforderlichen Bauwerkhöhen für den Abfluß von Q_{max} bestimmt werden und bei beweglichen Schützen ist das Wehrreglement festzulegen. Mit den Wasserspiegeln im Einlauf sind, mit kleinen Fließgeschwindigkeiten, der Rechen, der Übergang und die Sandfänge zu dimensionieren.

C. Schlußbemerkungen

Der Entwurf von Fassungen in geschiebeführenden Bächen und Flüssen wird erschwert durch die Vielgestaltigkeit der natürlichen Gegebenheiten. Auch die besprochenen Fassungen sind ja nur eine zufällige gegebene Summe von Einzelfällen. Es darf deshalb nicht enttäuschen, wenn trotz zwei Jahrzehnten der Untersuchung nur angenäherte Richtlinien für zukünftige Anordnungen gegeben werden können.

Die Wasserfassung ist anderseits ein Bauwerk, das auf Jahrzehnte einen gesicherten Betrieb gewährleisten soll, so daß die Projektierung in jedem Fall sorgfältig durchgeführt werden muß. Genügen dazu die gegebenen Richtlinien? Zweck der Darstellung unserer Erfahrungen war nicht allein die Bekanntgabe von Richtlinien, sondern es sollte auch gezeigt werden, wie zahlreich die Faktoren sind, die beim Entwurf einer Fassung mitspielen. Damit kann auch beurteilt werden, welche Erhebungen in der Natur erforderlich sind, um einen Entwurf genügend begründen zu können. Diese Grundlagen sind nämlich auch für die Durchführung von Modellversuchen erforderlich. Nur bei einwandfreien Naturgrundlagen liefert der Modellversuch sowohl hydraulisch als auch geschiebetechnisch ein zuverlässiges ähnliches Bild der Naturvorgänge. Diese Möglichkeit einer Überprüfung wird weiterhin ausgenützt werden müssen. Ganz besonders bei Fassungen in Beharrungsstrecken für große Ausbauwassermengen und mit Betriebsrestriktionen kann der Modellversuch als Hilfsmittel nur empfohlen werden. Die Nachbildung größerer Flußstrecken flußauf- und -abwärts der Fassungsstelle ermöglicht die Überprüfung der flußbaulichen Grundlagen und dient auch zum Entwurf der erforderlichen Flußverbauungen.

Ueber den heutigen Stand der Erzeugung von Kernenergie und ihre Bedeutung für die Energieversorgung der nächsten Jahre

Von Dipl. Ing. *A. Winiger*

Vortrag anläßlich der Vereinsversammlung des Schweiz. Nationalkomitees der Weltkraftkonferenz in Luzern vom 1. Oktober 1955.

Der steigende Bedarf an Energie, der durch die Zunahme der Bevölkerung und die sukzessive Hebung des Lebensstandards der breiten Massen bedingt ist, ruft gebieterisch nach neuen Energiequellen, da einer zu raschen Erschöpfung der Reserven an fossilen Brennstoffen vorgebeugt werden muß. Diese können uns bei der Verwertung in der synthetischen Chemie einen viel größeren Dienst leisten, als wenn wir sie in Wärme überführen. Die künstlich erzeugte Kernenergie scheint nun in die Lücke treten zu können, nachdem sie bereits seit Jahrmillionen als Sonnenstrahlung das Leben auf unserem Planeten überhaupt möglich gemacht hat. Die Internationale Atomkonferenz in Genf hat Ihnen vor Augen geführt, wie weit wir in der Erschließung der neuen Energiequelle schon vorgedrungen sind und was in den nächsten Jahren von ihr zu erwarten ist.

Vor allem darf festgehalten werden, daß uns die Kernenergie überwiegend nur in der wirtschaftlich am wenigsten interessanten Form, nämlich als Wärme, zur Verfügung gestellt wird. Ihre Überführung in andere Energieformen, wie beispielsweise in Elektrizität, ist infolgedessen mit großen Verlusten verbunden. Außerdem fällt bei der Kernspaltung Strahlungsenergie an, die uns vorläufig einiges Kopfzerbrechen verursacht. Sie ist für Lebewesen gefährlich und darf deshalb nur mit aller Vorsicht gehandhabt werden.

Bevor ich dazu übergehe, mich kurz über den Stand der Erzeugung von Kernenergie zu äußern, möchte ich nochmals daran erinnern, daß uns die Natur nur *einen* Brennstoff liefert, das Uranisotop U 235, das mit nur 0,7% im metallischen Uran enthalten ist. Es können zwar durch Beschießung mit Neutronen noch andere spaltbare Materialien hergestellt werden, wie das Ihnen bekannte Plutonium Pu 239 und das aus Thorium gewonnene Uranisotop U 233. Man tut aber gut daran, sich immer wieder vor Augen zu halten, daß U 235 als Ausgangsmaterial von größter Wichtigkeit ist.

Seit Enrico Fermi 1942 zum erstenmal einen heute schon sehr altmodisch anmutenden Kernreaktor in Betrieb setzte, sind ungeheure Summen für den Bau von neuen Reaktortypen ausgegeben worden, wobei das Schwergewicht auf Konstruktionen lag, die zur Gewinnung von spaltbarem Material, insbesondere Plutonium, dienten. Weiter wurde dem Bau von Reaktoren, die sich zur Prüfung von Konstruktionsmaterialien und zur Herstellung von radioaktiven Isotopen eigneten, besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Wenn man von den Plutonium-Erzeugern absieht, die militärischen Zwekken dienten, so wurden bis vor kurzem keine Reaktoren hoher Leistung erstellt, wie sie für die Krafterzeugung in Frage kämen. Dagegen sind eine Menge Vorarbeiten geleistet worden, die sich nun beim Bau der projektier-