

MASTER
FILE COPY

BUREAU OF RECLAMATION
HYDRAULIC LABORATORY
NOT TO BE REMOVED FROM FILES

UNITED STATES
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF RECLAMATION

HYDRAULIC LABORATORY REPORT NO. 176

FORMATION OF POOLS UNDER
OVERFLOWS
(KOLMBILDUNG UNTER UEBERFALLSTRAHLEN)

By

A. SCHUKLITSCH
IN
DIE WASSERWIRTSCHAFT, 1932, VOL. 24
TRANSLATION BY I. K. SILVERMAN

Denver, Colorado,
February 1, 1945

UNITED STATES
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF RECLAMATION

176
HYDRAULIC LABORATORY REPORT NO. 103

SUBJECT: FORMATION OF POOLS UNDER OVERFLOWS
(KOLKBILDUNG UNTER UEBERFALLSTRAHLEN)

By A. SCHOKLITSCH in DIE WASSERWIRTSCHAFT, 1932, VOL. 24

Translation by I. K. SILVERMAN

Under Direction of
D. C. McCONAUGHEY, SENIOR ENGINEER

Denver, Colorado,
Feb. 1, 1945

UNITED STATES
DEPARTMENT OF THE INTERIOR
BUREAU OF RECLAMATION

Branch of Design and Construction
Engineering and Geological Control
and Research Division
Denver, Colorado
Feb. 1, 1945

Laboratory Report No. 766
Hydraulic Laboratory
Translation by: I. K. Silverman
(Dam's Division)
Reviewed by: J. E. Warnock

Subject: Formation of Pools Under Overflows. Translation by I. K. Silverman on August 10, 1935, from original paper—
"Kolkbildung unter Ueberfallstrahlen," by A. Schoklitsch,
Professor at the German Technical University in Brünn,
Czecho-Slovakia, which appeared in "Die Wasserwirtschaft,"
1932, vol. 24.

The formation of a pool below a weir, and its prevention, has interested not only practicing engineers but has been the subject of study in research institutes, so that lately most of the large dams have been built on the basis of model research. While a great deal of work has been done on this problem, no research has been done systematically, so that, in general, solutions have been given for special cases, but no general rules have been formulated.

The author has made many hundred systematic tests in the last few years which pertain to the formations of pools and their prevention. In carrying out these experiments it is shown that the simplest case, for purposes of research, is that case where an overflow falls upon an unsupported, movable apron. This special case was therefore closely studied and an account of the results will be given which these tests have brought out. Concerning the formation of pools in other structures, a later report will follow.

When a falling stream of water meets the unprotected, movable apron, it can be scoured out to a considerable depth. Directly under the stream lies (Fig. 1) the bottom of the pool from which the attack on the apron starts. There, the soil is whirled up and torn apart farther up. In the beginning most of this whirled-up soil is held in suspension over the

sloping part of the pool and is dragged away by the water. As the process of forming the pool goes on, the greater is the amount of soil which falls onto the sloping part of the pool during the transportation of the suspended matter, and this suspended matter slides back to the bottom of the pool. Finally a state of equilibrium is formed, at which point no more soil extends over the sloping part of the pool. At this point the formation of the pool is ended. However, in completely formed pools the soil is not completely at rest, but is whirled up and out, always, however, falling onto the slopes and slipping back to the bottom. These uprooted clouds of soil are broken up into pieces, and it is only in this state that the particles of soil can be taken away and then taken up again into clouds. The deepening of the pool due to this breaking up of soil is, however, very insignificant, so that no heed need be given it.

The series of tests were carried out in a glass channel of 0.25 meters width. Since the size of the soil was of great importance on the dimensions of the pool, various sizes of soil were used where analysis is described in figure 2; five kinds of sand of the most uniform grain were sieved; the others were natural mixtures. With every type of sand, several series of experiments were run in which Q (quantity flowing) was held constant and the depth H (total fall) varied. In order to characterize the pool, it was sufficient to measure the greatest depth T in the pool. The results of the tests were plotted on logarithmic paper and are shown in figure 4. A very quick conclusion can be made that T is not a function of QH but depends greatly upon Q , while the fall H has little influence. Figures 6 and 7 bear out these conclusions. It can be shown easily from figures 4 and 5 that the depth of the pool is given by

$$T = a H^{0.2} Q^{0.57}$$

where a is a constant which depends upon the grain sizes of the sand mixture. The tests have shown that in the formation of the pool the make-up of the mixture is an important measure of the constant a . As a measure of mixture, that grain diameter is taken below which 90% are smaller and the rest larger. This "measuring" diameter is indicated in figure 2.

Finally, in figure 8, again with logarithm scales, is plotted the constants a with respect to "measuring" grain diameter d_m , which relation is expressed by the straightline. When the total fall H is in meters, the flow Q of a unit width of the weir in $\text{M}^2/\text{sec.}$, and the "measuring" grain diameter d_m is measured in millimeters, then the depth T (in meters) is given by

$$T = \frac{4.75}{d_m^{0.32}} H^{0.2} Q^{0.57}.$$

If the falling water is not sufficiently aerated, it inclines even more steeply so that it finally clings to the weir. This form of flow is the most dangerous for the stability of the weir, because a depth of pool is formed which is somewhat greater than that due to a well-aerated stream, since the greatest thickness of pool is right next to the weir, as one can see directly from figure 9.

The plunging stream (nappe), as the tests have shown, has no completely stable form. At low flows the part of the stream which dips under the water surface oscillates between the two limits shown in figure 10. At larger flows this oscillation cannot be observed.

As can be seen from figure 11, heavy flow takes place at the region of separation between pool bottom and the sloping part of the pool, since there the bottom of the pool is set at an angle which is greater than the angle of slope in still water. When the flow over the weir starts out, then the soil immediately goes under the surface, shown in white in figure 11, whereby a part of the pool is blocked up.

In every pool a sorting of grains takes place; the finer grains are pushed out, while the larger sands remain in the pool, and as has been stated above, are a measure of the size of the pool.

When the falling stream brings soil into the pool, then the depth of the pool becomes smaller, and more so if more soil is brought in. Of the soil thus brought into the pool, the coarsest remains and in the course of time forms an ever progressing paving of the bottom of the pool, which

acts so that the depth of the pool becomes smaller, corresponding to a uniform, large grain size, and the pool depth remains smaller when the bringing in of the soil stops.

As an example of the change of grain mixture in the pool, figure 12 shows by curve D the analysis of a soil used in an experiment, and the analysis is also shown on the grain mixture which has been formed on the bottom of the pool after soil of analysis D has been sent over the weir for a long period of time.

Kolkbildung unter Ueberfallstrahlen.

Samuel Siedts
A.S.L.

Von Ing. Dr.-techn. Armin Schoklitsch, ord. Professor an der Deutschen Technischen Hochschule in Brunn

Die Bildung eines Kolkes unter einem Wehr und seine Verhütung hat nicht nur zahlreiche in der Praxis stehende Ingenieure, sondern auch viele Versuchsanstalten seit Jahren beschäftigt und es sind in der letzten Zeit die meisten größeren Wehre auf Grund von Modellversuchen geformt worden. Wohl sind schon zahlreiche Versuche ausgeführt worden, die der Verhütung der Kolkbildung galten, aber fast alle bisher bekannt gewordenen Versuchsserien waren nicht hinreichend systematisch ausgeführt, so daß sie in der Regel nur die Lösung für einen besonderen Fall, aber keine allgemein gültigen Regeln brachten.

Vom Verfasser sind in den letzten Jahren viele Hunderte von systematischen Versuchen ausgeführt worden, die der Kolkbildung und der Kolkabwehr an Stauwerken galten. Bei der Durchführung dieser Versuche zeigte es sich, daß versuchstechnisch der einfachste Fall vorliegt, wenn ein freier Ueberfallstrahl die ungeschützte, bewegliche Sohle trifft. Dieser Sonderfall wurde daher in erster Reihe genauer untersucht und es sei nun vorerst über die Ergebnisse berichtet.

die diese Versuche gebracht haben. Ueber die Kolkbildung an anderen Stauwerken wird später ein Bericht folgen.

Wenn ein Ueberfallstrahl unmittelbar die ungeschützte, bewegliche Sohle trifft, so kann sie auf beträchtliche Höhen ausgespült werden. Unmittelbar unter dem Strahl liegt (Abb. 1) der Kolkboden, auf dem der Sohlenangriff erfolgt. Dort wird das Geschiebe aufgewirbelt und in die Höhe gerissen. Anfänglich gelangt das meiste dieses aufgewirbelten Geschiebes schwappend über die Kolkböschung (B) und wird vom Wasser fortgeschleppt. Je weiter die Kolkbildung fortgeschritten ist, desto mehr Geschiebe fällt während des Schwappend Transports auf die Kolkböschung (B) und gleitet auf dieser wieder auf den Kolkboden zurück. Endlich bildet sich ein Gleichgewichtszustand aus, bei dem kein Geschiebe mehr über die Kolkböschung hinweg gelangt. Die Kolkbildung ist dann beendet. Aber auch im vollkommen ausgebildeten Kolk ist das Geschiebe nicht in Ruhe, sondern wird unausgesetzt hochgewirbelt, fällt aber immer wieder auf die Kolkböschung und gleitet wieder auf den Kolkboden zurück.



Abb. 1 — Erstellung. K = Kolkboden,
B = Kolkböschung

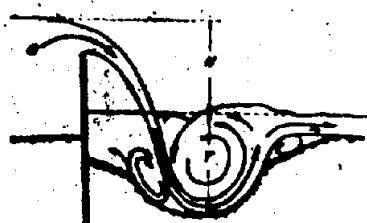


Abb. 2 — Schema der Versuchsaufstellung

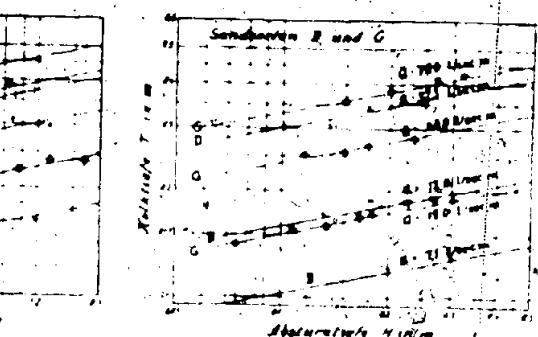
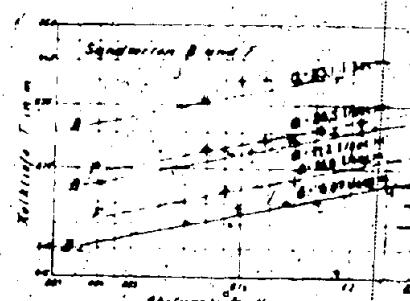
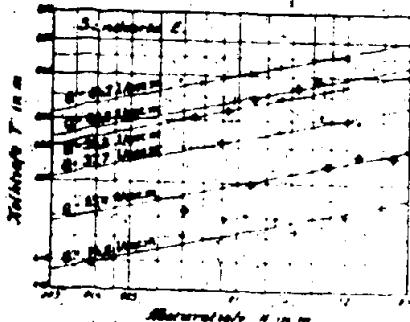
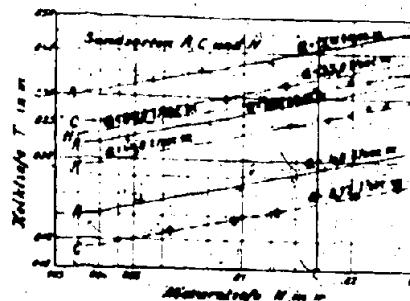


Abb. 4 — Bei den Versuchen gemessene Kolklooten T

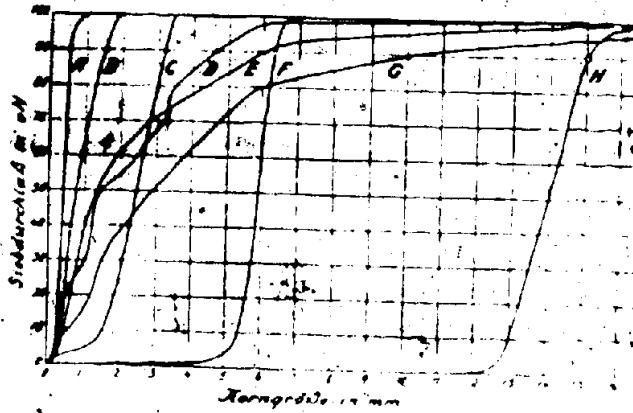


Abb. 5 — Mischungslinien der Sandsorten

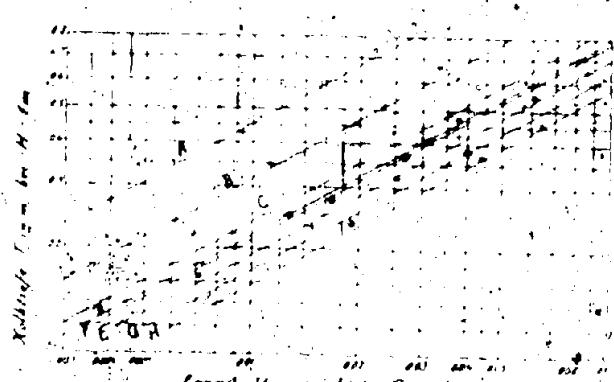


Abb. 6 — Beziehung zwischen dem beginnend wasser in über das Web und der Kolktiefe T im bei der Absurhöhe H. 1 m bei verschiedenen Sandarten

Dieses auf das Geschiebe führt, zu einem Abrieb desselben und nur in dem Maße, als einzelne Fische durch diesen Abrieb wesentlich verkleinert werden können, sie fortgeschleppt und am Kolkboden neu in das Kreisen einbezogen werden. Die Kolkverteilung infolge des Geschiebeabriebes ist aber so geringfügig, daß sie außer Acht bleiben kann.

Die Versuchseinheiten sind in einem 0,25 m breiten Glasgefäß ausgeführt worden. Da die Geschiebegroße von Bedeutendem Einfluß auf die Kolkahmessen ist, mußten verschiedene Sandarten verwendet werden, deren Mischungslinien in der Abb. 2 in der üblichen Weise dargestellt sind. Sandarten waren auf möglichst einheitliches Korn ausgesiebt, die übrigen drei waren natürliche Gemische. Mit jeder Sandart sind mehrere Versuchsserien ausgeführt worden, bei denen jedesmal der Abfluß Q konstant gehalten und die Absturztiefe H verändert worden ist. Zur Charakterisierung des Kolkes genügte die Messung der größten Wassertiefe T im Kolk. Die Ergebnisse der Versuche sind, auf logarithmischem Papier aufgetragen, in der Abb. 4 dargestellt; sie hatten vor allem das überraschende Ergebnis, daß die Kolkwassertiefe T nicht eine Funktion des Produktes QH ist, sondern vorwiegend vom Erguß Q abhängt, während die Absturztiefe H nur geringen Einfluß hat. Reicht überzeugend veranschaulichen dies einige Aufnahmen von Versuchen, die in den Abb. 6 und 7 wiedergegeben sind. Wie man sich leicht in den Auftragungen der Abb. 4 und 5 überzeugen kann, ist die Kolktiefe

$$T = H^{\alpha} Q^{\beta}$$

wobei α ein Beiwert ist, der von der Körnung des Geschiebegemisches abhängt. Die Versuche haben nun gelehrt, daß für die Ausbildung des Kolkes, also für die Größe des Beiwertes α vorwiegend die größten Bestandteile des Gemisches maßgebend sind. Als maßgebender Körndurchmesser d_m des Gemisches kommt jener angegeben werden,

der die Körner des Geschiebes derart scheidet, daß 90 % kleiner, der Rest größer ist. Diese maßgebenden Durchmesser sind bei den in der Abb. 2 dargestellten Geschiebegemischen besonders hervorgehoben.

In der Abb. 8 sind schließlich wieder mit logarithmischen Maßstäben, die aus den Versuchen abgeleiteten Beiwerte in Abhängigkeit vom maßgebenden Körndurchmesser d_m aufgetragen, denen die eingezeichnete Gerade entspricht. Wenn die Absturztiefe H in Metern, der Abfluß Q über die Breite einheit des Wehres in m^3 sec und der maßgebende Geschiebedurchmesser d_m in Millimetern gemessen werden, so beträgt die Kolktiefe T in Metern, im Einklang mit den Auftragungen in der Abb. 8:

$$T = 4,75 H^{0,2} Q^{0,5} \quad d_m = 0,02$$

Wenn der Überfallstrahl nicht hinreichend belüftet wird, so neigt er sich immer steiler und legt sich schließlich an das Wehr an. Er klebt also dann gleichsam am Wehr. Diese Strahlform ist für den Bestand eines Wehres die gefährlichere, weil sie entsprechend der im Wesentlichen nur an der Strahlhinterseite auftretenden Energievernichtung eine Kolktiefe entwickelt, die etwas größer ist, als jene bei gut belüftetem Strahl, und weil die größte Kolktiefe überdies unmittelbar am Wehr-

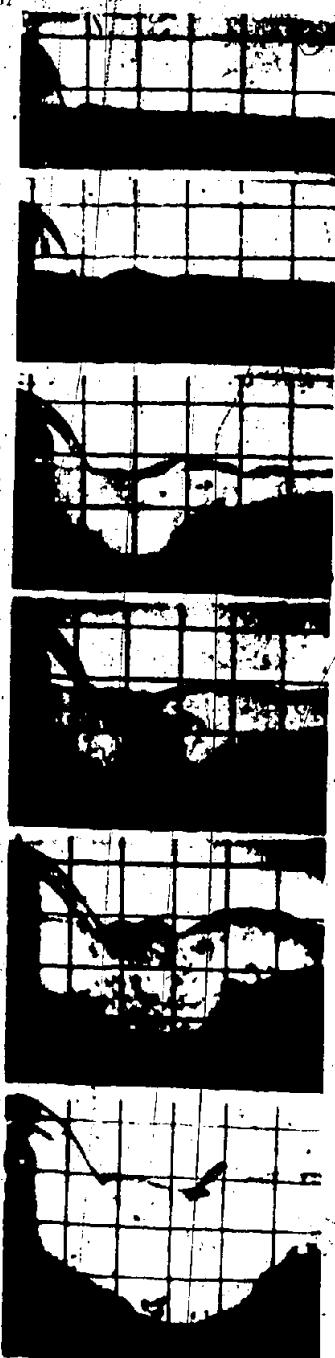


Abb. 7 - Kolkbildung in Sandart E bei annähernd gleichem Abfluß Q (16,3 l/sec.) und verschiedenen Absturztiefen H . Eine Quadratzelle ist gleich 10 cm des Modells.

$Q = 16,3$ l/sec.

$Q = 25,6$ l/sec.

$Q = 37,7$ l/sec.

Abb. 8 - Kolkbildung in Sandart E bei annähernd gleichem Abfluß Q , aber verschiedenen Absturztiefen H . Eine Quadratzelle ist gleich 10 cm des Modells.

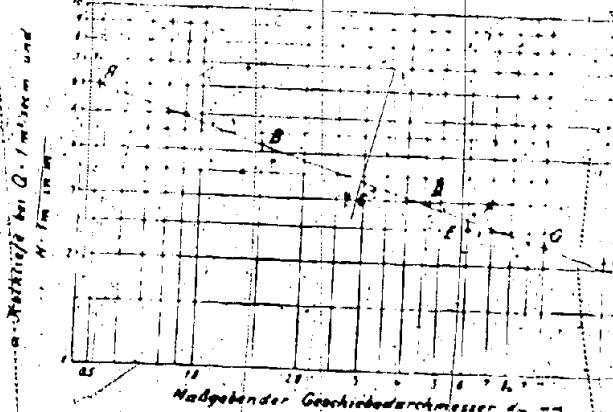


Abb. 8 — Beziehung zwischen der Kolktiefe bei der Abflurttiefe $H = 1 \text{ m}$ und dem maßgebenden Geschiebedurchmesser d_m beim Erguß $Q = 1 \text{ m}^3/\text{sec. m}$

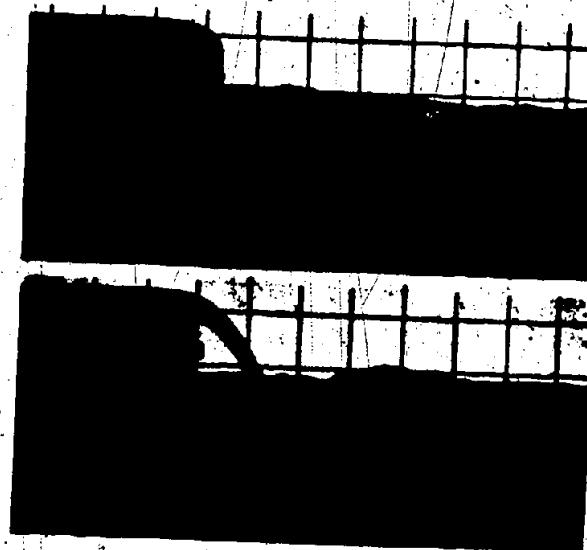
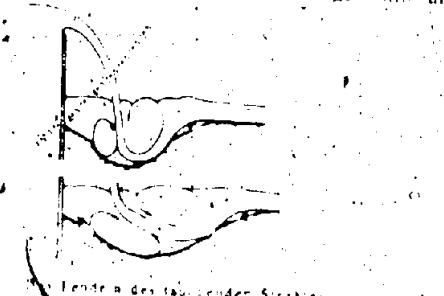


Abb. 9 — Ausbildung des Kolls im Sand P beim Erguß $Q = 24,5 \text{ l/sec. m}$: oben: haltender Oberfallstrahl, unten: beobachteter Oberfallstrahl
(Eine Quadratseite ist gleich 10 cm des Modells)

körper auftritt, wie man anschaulich in der Abb. 9 erkennen kann.

Der Tauchstrahl hat, wie die Versuche gelehrt haben, keine "vollkommen stabile" Form. Bei kleineren Ergüssen beginnt der unter den Wasserspiegel getauchte Strahl zwischen den in der Abb. 10 dargestellten Grenzlinien hin und



heranziehend "zu wippen", der Grenzlagen jeweils länger verweilt. Bei einem Spülzeitmaß (Abb. 11) ergeben sich die exakteren Konsequenzen, die der früher gegebenen Gleichung entsprechen. Bei großen Ergüssen kommt diese Erscheinung nicht beobachtet werden.

Wie der Block in der Abb. 12 deutlich lehrt, muß die fertige Stromung an der Verschlußstelle zwischen dem Kolk und dem Kolkkörper zurückweichen und zur Kolkseite fließen, daß dort der Kolk



Abb. 11 — Böschung im Sand P am Ende des Kolks in stromendem Wasser und im ruhenden Wasser (aus Abb. 10)

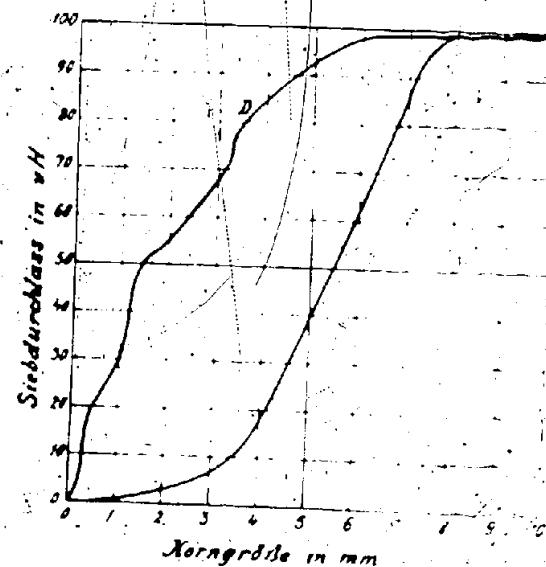


Abb. 12 — Änderung der Kornbeschaffung im Kolk bei einem Versuch mit dem Sandanteile P

boden nach einem Winkel geneigt ist, der größer ist als der Böschungswinkel in ruhendem Wasser. Wenn der Erguß über das Wehr aussetzt, so stellt sich das Geschehe sofort unter dem flachen, in der Abb. 11 eingezeichneten Böschungswinkel ein, wobei ein Teil des Kolks verschüttet wird; die Natur wird daher z. B. unterhalb eines Wasserfalles nach Ablauf eines Hochwassers niemals die während des Hochwassers aufgetretene größte Kolktiefe gemessen werden können.

In jedem Kolk tritt eine Kornsortierung auf, das feinere Korn wird ausgespült, während die gröberen Geschiebe im Kolk verbleiben und wie schon gesagt worden ist, zur die Kolkabmessungen maßgebend werden.

Wenn der Überfallstrahl (Geschiebe) in den Kolk bringt, so wird die Kolktiefe kleiner und zwar um so mehr, je mehr Geschiebe hingefügt wird; diesem in den Kolk gelangten Geschiebe bleibt das Größte im Kolk zurück und bildet im Laufe der Zeit eine immer dicker werdende Ausplasterung des Kolkbodens, die bewirkt, daß die Kolktiefe entsprechend dem fast einzischen groben Korn kleiner wird, und umgekehrt bleibt, wenn die Geschiebezählung wieder aufhört.

Als Beispiel für die Änderung der Kornbeschaffung im Kolk ist in der Abb. 12 die Mischung $P = 10$ des bei einem Versuche verwandter Sandes dargestellt und es ist die Mischungslinie bezeichnet, auf der der Korngehalt entsprechend dem sich am Kolkboden abhenden Kolkmaß längere Zeit hindurch Geschiebe von der Korngrößen d_m und d_M das Wehr über den Kolk gelangen war.