**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal =

Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 119 (1968)

Heft: 2

Artikel: Methode zur Reduktion der Grösse des Sperrenkolkes mit technischen

Hilfsmitteln und deren Erprobung im Modell

Autor: Kotoulas, D.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-765555

#### 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:** 30.11.2025

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

## Methode zur Reduktion der Größe des Sperrenkolkes mit technischen Hilfsmitteln und deren Erprobung im Modell

Von D. Kotoulas, Zürich/Thessaloniki

Oxf. 116.7 (384.3)

#### 1. Problemstellung

Eines der brennendsten Probleme des Fluß- und Wildbachverbaues stellt die Auskolkung der Gerinnesohle durch natürlichen oder künstlichen Wasserabsturz dar. In der Praxis dienen die Abmessungen des Kolkloches häufig als Kriterium zur Bestimmung der minimalen Fundierungstiefe des Bauwerkes und des minimalen Abstandes zweier aufeinanderfolgender Sperren.

Auf alle Fälle ist eine Vorausberechnung der wichtigsten Kolkdimensionen – Tiefe, Länge, Lage des tiefsten Kolkpunktes – möglich. Sie dient der Vorauskonstruktion der Kolkwanne (Kotoulas, 1967). Es wäre aber sowohl von technischem als auch ökonomischem Interesse, diese zu erwartenden Kolkabmessungen möglichst günstig zu reduzieren.

Diese Idee ist nicht neu. Bereits seit vielen Jahren sichert man Sperren durch Einwerfen größerer Blöcke vor Kolkschäden (Wang, 1903, Härtel-Winter, 1934, Strele, 1950). Bis jetzt wurde aber der Einfluß der eingeworfenen Blöcke auf die Kolkabmessungen nicht untersucht, sondern nur hach Erfahrungswerten festgelegt.

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, welche Beziehung <sup>zwischen</sup> der Dimension, dem Volumen und der Zusammensetzung der eingebrachten Blöcke und den dadurch bedingten Kolkabmessungen besteht. 
Voraussetzungen zur Prüfung dieser Beziehung im Bereich des vollkommenen Überfalles sind:

- Verwendung von Geschiebemischungen als Sohlenmaterial;
- keine Berücksichtigung des Abriebes des Sohlenmaterials;
- kein Geschiebetransport von Oberstrom.

### 2. Methode zur Kontrolle der Kolkabmessungen

<sup>2</sup>.1 Überlegungen zur erwünschten Reduktion der Kolkabmessungen

Auf Grund früher durchgeführter Kolkversuche¹ konnten für die Berechnung der Kolkwassertiefe, der Kolklänge und der Lage des tiefsten Kolkpunktes folgende Gleichungen aufgestellt werden:

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Die entwickelte Methode basiert hauptsächlich auf unseren früheren Untersuchungen ber das Kolkproblem an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau (VAWE) der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich (Kotoulas, 1967).

$$S_t = (h_{s_t} + h_u) = \left[ 1.9 \cdot \frac{1}{g^{0.35}} \cdot \frac{h^{0.35} \cdot q^{0.7}}{d_{95}^{0.4}} \right] \cdot \left( 1 - e^{-0.55} \sqrt[5]{t} \right)$$
 (1)

$$l_{s_{t}} = \left[2.7 \cdot \frac{1}{g^{0.45}} \cdot \frac{h^{0.45} \cdot q^{0.9}}{d_{g_{5}}^{0.8}}\right] \cdot \left(1 - e^{-0.2} \cdot \sqrt[3.5]{t}\right) \tag{2}$$

$$l_{a_{t}} = \left[ 3.9 \cdot \frac{1}{g^{0.35}} \cdot \frac{h^{0.27} \cdot q^{0.54}}{d_{95}^{0.08}} \right] \cdot \left( 1 - e^{-0.5} \sqrt[6]{t} \right)$$
 (3)

 $S_t$   $l_s$   $l_a$  = Kolkwassertiefe, Kolklänge und Abstand zwischen dem tiefsten Kolkpunkt und der Sperre zur Zeit t (m)

 $h_{st}$  = Kolktiefe zur Zeit t (m)

h<sub>u</sub> = Unterwassertiefe (m)

 $g = Erdbeschleunigung (m/sec^2)$ 

h = Absturzhöhe (m)

q = spez. Wassermenge (m³/sec m)

d<sub>95</sub> = Geschiebedurchmesser bei 95 Gew.-<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der gesamten Sohlenmischung (m)

t = Zeit (sec)

Verallgemeinert lautet die Gleichung für eine beliebige Kolkabmessung ohne Geschiebetransport von oberstrom, ohne spezielle Berücksichtigung des Abriebes und gültig für den vollkommenen Überfall:

$$K = \left[ W_k \cdot d_{95} \cdot \left( \frac{q^2 \cdot h}{g \cdot d_{95}^4} \right)^X \right] \cdot \left( 1 - e^{-f \cdot t^n} \right) \tag{4}$$

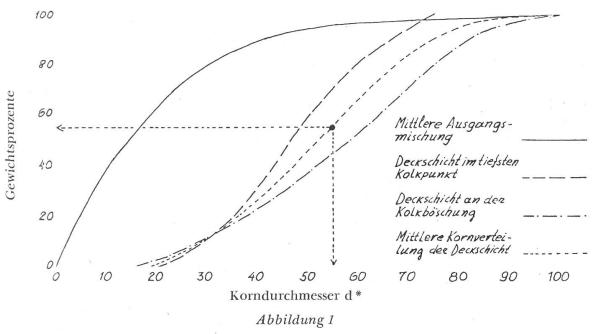
K<sub>t</sub> = Kolkabmessung zur Zeit t (m)

w<sub>k</sub> f = Faktoren bzw. Koeffizienten (dimensionslos)

 ${
m x}$   ${
m n}$  = Exponenten (dimensionslos)

Ebenso wurde gezeigt, daß durch den Aufprall des Wasserstrahles das Geschiebematerial der Sohle aufgewirbelt und in die Höhe gerissen wird, anschließend schwebend über die Kolkböschung gelangt und dann vom Wasser fortgeschwemmt wird. Die ganze Materialbewegung führt zu einer Entmischung und Sortierung des Sohlengeschiebes. Das Grobkörnige verbleibt in der Kolkwanne, während das Feinere durch das Wasser abtransportiert wird. So bilden allmählich die groben Komponenten auf der gesamten Kolkfläche die sogenannte Deckschicht, die das darunterliegende Material vor weiterer Kolkung schützt.

Wie die Untersuchung des Kornaufbaues und der Stärke der Deckschicht an verschiedenen Stellen der Kolkwanne zeigte, ist die Deckschichtpartie im



Gesamtbild der mittleren Kornzusammensetzung der Ausgangsmischungen und der Deckschichten im tiefsten Kolkpunkt und an der Kolkböschung.

tiefsten Kolkpunkt und an der Kolkböschung von großer Bedeutung für den Kolkvorgang und die Kolkabmessungen. Sie zeichnet sich (Abbildung I) durch eine relativ ausgeprägte Gleichförmigkeit und das Vorhandensein nur der gröbsten Komponenten des Ausgangsmaterials aus. Es wurde festgestellt, daß der maßgebende Korndurchmesser der Deckschicht an den erwähnten zwei Stellen bestimmend für die Kolkbildung ist. Der maßgebende Korndurchmesser  $d_m$  ist  $d_m = d_{95}$  der Ausgangsmischung.

Maßgebend für die Entstehung des Kolkes sind vor allem Korndimensionen, -zusammensetzung und -volumen im tiefsten Kolkpunkt und an der Kolkböschung, da hier der Wasserstrahl angreift. Einer bestimmten Kolkgeometrie entspricht eine bestimmte Deckschicht. Auf Grund dieser festgestellten Beziehung können wir folgende Annahme machen:

Die technische Einbringung einer nach Dimension, Volumen und Zusammensetzung gröberen Deckschicht als diejenige des natürlichen Sohlenmaterials bereits vor der Auskolkung soll eine dieser Deckschicht entsprechende verkleinerte Kolkgeometrie bedingen.

# 2.2 Die Kornzusammensetzung der Deckschicht in der Kolkwanne und ihre Wiederherstellung

Zur Vereinfachung der Beschreibung der Kornzusammensetzung der Deckschicht wurde aus der Kornverteilungskurve im tiefsten Kolkpunkt und an der Kolkböschung die mittlere Kornverteilung bestimmt (Abbildung 1). Die so entstandene mittlere Kurve gibt uns die Beziehung zwischen Korn-

durchmesser (in Prozenten des maximalen Korndurchmessers der Mischung) und den Gewichtsprozenten. Somit kann für einen bestimmten Korndurchmesser sowohl das entsprechende Gewichtsprozent als auch die Gewichtsprozentzunahme pro Durchmesserstufe bestimmt werden.

Als maßgebender Korndurchmesser kann aus Abbildung 1  $d_m = d_{55}$  abgelesen werden. Weiter kann aus der mittleren Kurve  $d_m = 0.55 \cdot d_{max}$  und  $d_{min} = 0.18 \cdot d_{max}$  ermittelt werden. Es kann daher bei Kenntnis des maßgebenden Korndurchmessers der Deckschicht der maximale und minimale Korndurchmesser mit der einfachen Beziehung berechnet werden:

$$d_{max} = \frac{d_m}{0.55} \quad \text{, } d_{min} = 0.18 \cdot d_{max}$$

Mit Hilfe der Tabelle 1 können des weiteren die nötigen Punkte der Kornverteilungskurve gezeichnet werden.

 $Tabelle\ 1$  Kornzusammensetzung der Deckschicht

Korndurchmesser in $\theta/\theta$ des $d_{max}$	Gewichtsprozent	Gewichtsprozent- zuwachs pro Korndurchmesserstufe		
18 20 30 40 50 60 70 80 90	0 2 12 27 46 66 82 92 98	2 10 15 19 20 16 10 6		

# 2.3 Berechnung der Deckschicht (maßgebendes Korndurchmesser-Volumen und Gewicht)

Für die Berechnung der Kolkwassertiefe im Endzustand wird die Gleichung (1) verwendet. Sie erhält mit  $g = 9.81 \text{ m/sec}^2$  die Endform:

$$S_0 = 0.86 \cdot \frac{h^{0.35} \cdot q^{0.7}}{d_{95}^{0.4}}$$

oder bei d<sub>m</sub> = d<sub>95</sub> der Ausgangsmischung:

$$d_m^{0.4} = 0.86 \cdot \frac{h^{0.35} \cdot q^{0.7}}{S_0}$$
 (m)

Diese Gleichung liefert den maßgebenden Korndurchmesser der Deckschicht für eine angestrebte Kolkwassertiefe.

Weiters muß das Volumen bzw. Gewicht der benötigten Deckschicht berechnet werden. Das kann über die Querschnittfläche der Deckschicht (gegeben durch den Bereich des tiefsten Kolkpunktes und der unteren Kolkböschung, Abbildung 2) erreicht werden. Die früher durchgeführten Modellversuche lieferten die benötigte Anzahl von Photos. Anhand dieser kann die Querschnittfläche bestimmt und planimetriert werden (Tabelle 2).

Ausgangspunkt für die Berechnung der Deckschichtfläche (F<sub>d</sub>) im Endzustand bildet die allgemeine, dimensionsrichtige Gleichung 4 in folgender abgeänderter Form:

 $\left(\frac{F_d}{d_{95}^2}\right) = W_k \cdot \left(\frac{q^2 \cdot h}{g \cdot d_{95}^4}\right)$ 

Der Exponent x wurde wie folgt bestimmt:

$$\log\left(\frac{F_d}{d_{95}^2}\right) = \log W_k + x \log\left(\frac{q^2 \cdot h}{g \cdot d_{95}^4}\right)$$

Trägt man  $\left(\frac{F_d}{d_{95}}\right)$  in Funktion von  $\left(\frac{q^2 \cdot h}{g \cdot d_{95}^4}\right)$  auf logarithmisches Papier, so erhält man als Ausgleichsfunktion eine Gerade (Abbildung 3), deren Steigungsmaß:

$$\frac{\log\left(\frac{F_d}{d_{95}^2}\right)}{\log\left(\frac{q^2 \cdot h}{g \cdot d_{95}^4}\right)} = 0.52$$

dem Exponenten x entspricht.

Die Konstante wk wurde mit Hilfe folgender Gleichung bestimmt:

$$\log w_k = \log \left(\frac{F_d}{d_{95}^2}\right) - \log \left(\frac{q^2 \cdot h}{g \cdot d_{95}^4}\right)^{0.52}, \qquad w = 1.8$$

Die Gleichung für die Querschnittfläche der Deckschicht  $\mathbf{F}_{\mathrm{d}}$  lautet:

$$\left(\frac{F_d}{d_{95}^2}\right) = 1.8 \cdot \left(\frac{q^2 \cdot h}{g \cdot d_{95}^4}\right)^{0.52}$$

und

$$F_d = 0.6 \cdot \frac{q^{1.04} \cdot h^{0.52}}{d_{-0.08}} \tag{m}^2$$

mit  $g = 9.81 \text{ m}^3/\text{sec}$  m und  $d_{95} = d_m$  der Deckschicht.

 $Tabelle\ 2$  Gemessene Querschnittfläche der Deckschicht

Versuchs-	Querschnittfläche $F_d$ $(m^2)$			
bezeichnung	Mischung d <sub>1</sub>	Mischung d <sub>2</sub>	Mischung da	
$\mathrm{h}_1 q_1$	0,0350	0,0267	0,0215	
$h_1q_2$	0,0265	0,0197	0,0175	
$h_1q_3$	0,0200	0,0141	0,0127	
$h_1q_4$	0,0085	0,0060	0,0055	
$h_2q_1$	0,0235	0,0225	0,0216	
$h_2q_2$	0,0187	0,0158	0,0142	
$h_2q_3$	0,0140	0,0134	0,0110	
$h_2q_4$	0,0076	0,0045	0,0039	
$h_3q_1$	0,0218	0,0213	0,0182	
$h_3q_2$	0,0160	0,0145	0,0140	
$h_3q_3$	0,0088	0,0078	0,0075	
$h_3q_4$	0,0056	0,0037	0,0035	
$h_4q_1$	0,0192	0,0183	0,0142	
$h_4q_2$	0,0150	0,0122	0,0114	
$h_4q_3$	0,0070	0,0054	0,0060	
$h_4q_4$	0,0040	0,0034	0,0032	

Das Gesamtvolumen der Deckschicht pro 1 m Breite ist:

$$V_d = F_d \cdot 1 \tag{m}^3$$

Spezielle Messungen in der Deckschicht ergaben ein Porenvolumen von 42 Prozent. Das tatsächliche Materialvolumen ist:

$$V_{d_W} = 0.58 \cdot V_d \qquad (m^3)$$

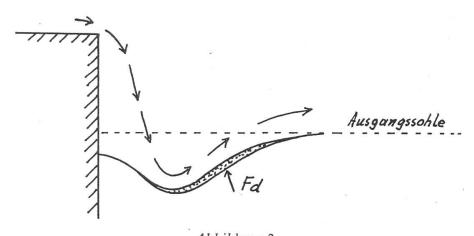
und das entsprechende Gewicht ist:

$$G_{d_W} = V_{d_W} \cdot \gamma_s = 0.58 \cdot V_d \cdot \gamma_s = 0.58 \cdot F_d \cdot 1 \cdot \gamma_s$$

 $\gamma_s = spez.$  Gewicht des Sohlenmaterials (t/m³).

2.4 Materialvolumen bzw. Gewicht der Deckschicht und seine Kornzusammensetzung

Die Kornzusammensetzung der benötigten Deckschicht kann entweder gröber als diejenige des vorhandenen Sohlenmaterials sein (Abbildung 4 [b]),



 $Abbildung\ 2$  Schematisches Bild der gemessenen Querschnittfläche.

oder die feineren Komponenten der Deckschicht sind gleich groß wie die gröberen der Sohlenmischung (Abbildung 4 [a]). Daraus geht klar hervor, daß im zweiten Fall zur Erreichung der gewünschten Reduktion der Kolkabmessungen nur der fehlende Teil der Deckschicht eingebracht werden muß (in der Abbildung 4 schraffiert). Der restliche Teil fällt durch die Auskolkung der Sohle an.

Zur Bestimmung der Gewichtsanteile pro Korndurchmesserstufe des bei einer erwünschten Kolktiefe vorhandenen Sohlenmaterials muß die entstehende Kolkgeometrie bekannt sein. Die Kolklänge ('so) und die Lage des tiefsten Kolkpunktes ('ao) werden mit Hilfe der Gleichungen 2 und 3 für den Endzustand berechnet. Die Kolkwanne kann somit konstruiert (Kotoulas, 1967), die Fläche gemessen und das Volumen pro 1 m Kolkbreite berechnet werden. Nach Abzug der 30 Prozent für das Porenvolumen (Kotoulas, 1967) ergibt sich für das tatsächliche Volumen:

$$V_{s,u} = 0.7 \cdot V_s \qquad (m^3/m)$$

und für das entsprechende Gewicht:

$$G_{s_w} = V_{s_w} \cdot \gamma_s = 0.7 \cdot V_s \cdot \gamma_s \qquad (t/m)$$

 $\gamma_{\rm s} = {\rm spez.}$  Gewicht des Sohlenmaterials (t/m³).

Aus der Kornverteilungskurve der Sohlenmischung wird die prozentuelle Gewichtszunahme pro Korndurchmesserstufe gerechnet. Mit Hilfe des berechneten Gesamtgewichtes  $(G_{s_w})$  des Sohlenmaterials der Kolkwanne kann die Gewichtszunahme pro Korndurchmesserstufe für den angestrebten Zustand ermittelt werden (Abbildung 4).

Vergleiche der Kornzusammensetzung der Deckschicht und des Sohlenmaterials haben gezeigt, daß sämtliche feine und etwa die Hälfte der gröberen Komponenten der Sohlenmischung wegtransportiert werden und somit

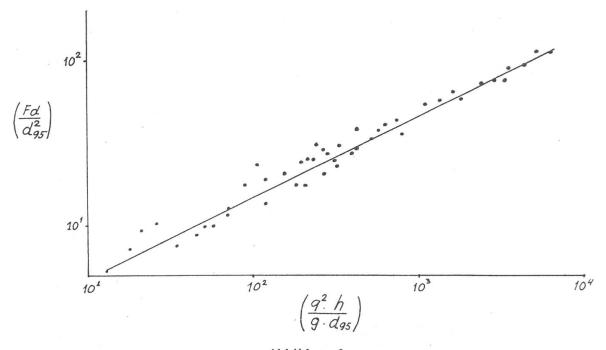


Abbildung 3
Bestimmung des Exponenten X

für die Deckschicht verloren gehen. Dieser Verlust muß in Rechnung gestellt werden.

Für die benötigte Deckschicht kann die entsprechende Gewichtszunahme pro Korndurchmesserstufe mit Hilfe der Tabelle 1 bestimmt werden.

### 3. Überprüfung der Methode im Modell

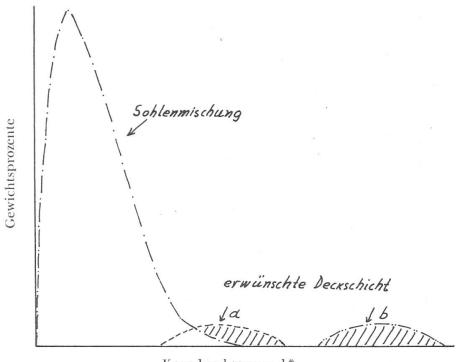
## 3.1 Versuchsbedingungen

## 3.1.1 Versuchsprogramm

Die zur Erprobung der entwickelten Methode notwendigen Versuche im Modell wurden an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau (VAWE) der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich durchgeführt.

Von den drei bei früheren Versuchen verwendeten Geschiebemischungen (Kotoulas, 1967) kam die feinste (d3) zur Verwendung (Abbildung 5). Der mit dieser Mischung bei q = 0,08 m³/sec m und h = 0,400 m durchgeführte Versuch ergab eine Kolkwassertiefe von  $S_0 = 0,545$  m oder eine eigene Kolktiefe von  $h_s = 0,410$  m (Kotoulas, 1967). Ziel des Versuchsprogrammes waren folgende Reduktionen der Kolkwassertiefe bei obgenannten Bedingungen:

$$S_{0_1} = 0.485 \text{ m}$$
  $h_{S_1} = 0.350 \text{ m}$  (14.6 %)  
 $S_{0_2} = 0.435 \text{ m}$   $h_{S_2} = 0.300 \text{ m}$  (27.0 %)  
 $S_{0_3} = 0.385 \text{ m}$   $h_{S_3} = 0.250 \text{ m}$  (39.0 %)



Korndurchmesser d\*

Abbildung 4

Schematischer Vergleich zwischen Ausgangsmischung und notwendiger Deckschicht.

Mit der entwickelten Methode konnten die der Reduktion entsprechenden Deckschichten ermittelt werden:

$$D_1 = 22 \text{ kg}$$
,  $D_2 = 30 \text{ kg}$ ,  $D_3 = 34 \text{ kg}$ .

Abbildung 6 zeigt die entsprechenden Kornverteilungskurven. Es wurden also drei Versuche durchgeführt:

d3hqD1, d3hqD2, d3hqD3.

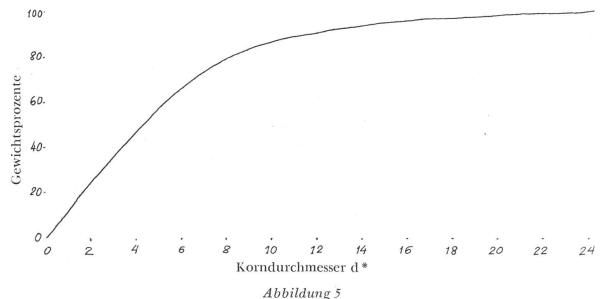
Anhand von Photographien konnte der ganze Kolkvorgang studiert werden.

Ein weiteres Problem stellt die Festlegung der Lage des günstigsten Platzes zur Blockwurfablagerung dar. Dies gilt sowohl für das Modell (bei konstanter Wassermenge) als auch bei natürlichen Verhältnissen (Änderung der Wassermenge mit der Zeit).

Im Modell wurden folgende Ablagerungsvarianten untersucht:

- zwischen Sperre und Wasserwurfparabel abgelagerter Blockwurf (Abbildung 7 a);
- zwischen Sperre und Wasserwurfparabel in der Sohle eingegrabener Blockwurf (Abbildung 7 b).

Diese zwei Varianten wurden deshalb gewählt, weil Vorversuche zeigten, daß wegen der großen Schleppkraft des Wasserstrahles und der Gefahr des



Kornverteilungskurve der Ausgangsmischung.

Abtransportes des Blockwurfes dieser zwischen Sperre und Wurfparabel des Wasserstrahles abgelagert werden sollte. Für jeden Modellfall wurden zwei Versuche mit dem Blockwurf D<sub>3</sub> durchgeführt.

Für natürliche Verhältnisse wurden folgende Ablagerungsvarianten untersucht:

- zwischen Sperre und Wurfparabel der minimalen Wassermenge frei abgelagerter Blockwurf (Abbildung 8 a);
- in einer durch die minimale Wassermenge geschaffenen Kolkwanne abgelagerter Blockwurf (Abbildung 8b).

Zur Nachahmung der natürlichen Verhältnisse im Modell wurde bei vier Versuchen mit der Deckschicht D2 die Wassermenge variiert:

$$q_1=0.02$$
,  $q_2=0.04$ ,  $q_3=0.06$ ,  $q_4=0.08$  m³/sec m  
Die Fließdauer von  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  betrug je 15 Minuten, von  $q_4$  4 Stunden.

## 3.1.2 Versuchsanordnung und -technik

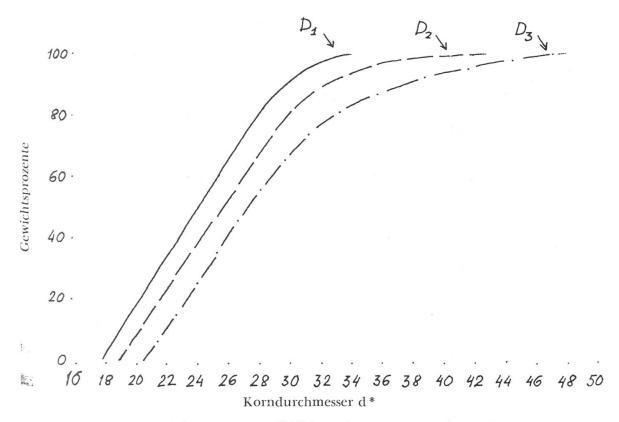
Im Prinzip sind Versuchsanordnung und -technik gleich wie bei den früher durchgeführten Versuchen (Abbildung 9).

Der für jeden Versuch vorbereitete Blockwurf wurde vor Versuchsbeginn nach Ausgleichung der Sohle in den vorgesehenen Ablagerungsplatz eingebracht.

Die Färbung des Blockwurfes erleichterte die Beobachtung des Kolkvorganges sehr.

## 3.2 Versuchsergebnisse

Der Kolkvorgang spielte sich wie bei den früheren Kolkversuchen ab. Der mit hoher Geschwindigkeit aufprallende Wasserstrahl spülte die Sohle



 $Abbildung \ 6$  Kornzusammensetzung der drei für die Modellversuche vorbereiteten Blockwürfe.

 $Tabelle\ 3$  Die zeitliche Entwicklung der Kolkwassertiefe in m

Versuch -	Zeit (sec)						
	20	40	78	156	307	615	1230
$\mathrm{d_3hq}$	0,330	0,340	0,375	0,395	0,415	0,440	0,460
$d_3hqD_1$	0,325	0,330	0,345	0,365	0,390	0,405	0,415
$d_3hqD_2$	0,305	0,315	0,325	0,340	0,350	0,370	0,390
$\mathrm{d_3hqD_3}$	0,280	0,300	0,310	0,330	0,335	0,340	0,345
	Zeit (sec)						-
Versuch 2	2460	3600	7200	14 400	25 200	86 400	
$d_3hq$	0,470	0,480	0,490	0,500	0,510	0,530	
$d_3hqD_1$	0,435	0,450	0,460	0,470	0,480	0,485	
$d_3hqD_2$	0,400	0,410	0,420	0,425	0,430	0,435	
$d_3hqD_3$	0,355	0,360	0,370	0,375	0,380	0,385	

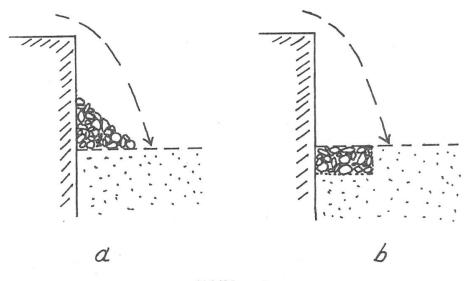
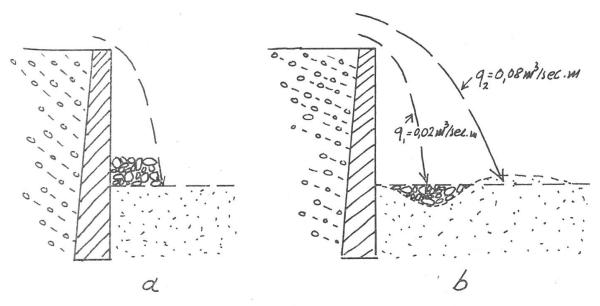


Abbildung 7
Ablagerung des Blockwurfes im Modell.

bis auf eine beträchtliche Tiefe aus. Gleichzeitig begann der Blockwurf nachzurutschen. Bereits 20 Sekunden nach Beginn des Versuches befand sich eine beachtliche Menge von Steinen in der Kolkwanne (Abbildung 10). Dies bedingte eine Verzögerung des ganzen Kolkvorganges. Im Laufe der weiteren Kolkentwicklung rutschte auch der letzte Teil des Blockwurfes in die Kolkwanne nach. Bereits nach 5 Minuten befand sich der ganze Blockwurf im Kolkloch. Einen typischen Kolkvorgang mit Blockwurf zeigt Abbildung 10.

Tabelle 3 ermöglicht den Vergleich der zeitlichen Entwicklung des Kolkvorganges ohne Blockwurf und den drei verwendeten Blockwürfen. Aus dieser Tabelle geht klar hervor, daß unter Verwendung der erwähnten Blockwürfe die erwünschte Reduktion der Kolkwassertiefe erreicht worden ist (Abbildung 11). Hiermit ist der Beweis erbracht, daß die entwickelte Methode zur Reduktion der Kolkabmessungen richtig aufgebaut und auch in der Praxis angewendet werden kann.

Die Versuche ergaben als günstigsten Platz für die Ablagerung des Blockwurfes für das Modell bzw. für die natürlichen Verhältnisse den Raum zwischen Sperre und Wurfparabel der konstanten bzw. minimalen Wassermenge. In diesem Ablagerungsbereich wird der Blockwurf nicht abtransportiert, sondern rutscht vorerst allmählich über die obere Kolkböschung in die Kolkwanne und übernimmt dort die Rolle der Deckschicht. Die Blockwurfablagerung gerade unterhalb der Wurfparabel des Wasserstrahles führt zu großen Materialverlusten und kann praktisch kaum einen Einfluß auf den Kolkvorgang ausüben. Die Eingrabung des Blockwurfes in der Sohle verhindert Steinverluste, jedoch verbleibt ein großer Teil der Steine in der



 $Abbildung \ 8$  Ablagerung des Blockwurfes für den Fall der natürlichen Verhältnisse.

Ausgangslage. Somit geht die Wirkung für die Reduktion des Kolkvorganges größtenteils verloren.

Die Ablagerung des Blockwurfes in einer durch kleine Wassermengen entstandenen Kolkwanne führt bei späterer Zunahme der Wassermenge zu großen Steinverlusten.

#### 4. Anwendung der Methode in der Praxis (Beispiel)

Der Berechnungsgang zur Reduktion der Kolkabmessungen soll anhand eines Beispieles erläutert werden.

Gegeben: Sperrenhöhe h = 5 m spez. Wassermenge 
$$q_{max} = 4 \text{ m}^3/\text{sec m}$$

Kornzusammensetzung der Sohle (siehe Abbildung 12) erwartete maximale Kolktiefe maximal erwünschte Kolktiefe  $h_{s_0} = 4.3 \text{ m}$ 

Kolktiefe-Unterschied  $h_{s_0} = 2.6 \text{ m}$ 

Gesucht: Dimension, Volumen bzw. Gewicht und Kornzusammensetzung des benötigten Blockwurfes.

## Berechnungsvorgang:

a) maßgebender Korndurchmesser:

$$s_o = h_{S_o} + h_u$$

$$h_u = \frac{3}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{q^2}{g \cdot b^2}} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{4^2}{9.81}} = 1.76 \text{ m}$$

$$s_o = 4.36 \text{ m}$$

$$d_m^{0.4} = 0.86 \cdot \frac{h^{0.35} \cdot q^{0.7}}{s_o} = 0.86 \cdot \frac{5^{0.35} \cdot 4^{0.7}}{4.36}$$

$$d_m = 0.56 \text{ m}$$

b) Kornzusammensetzung des Blockwurfes (Tab. 4):

$$d_{max} = \frac{d_m}{0.55} = \frac{0.56}{0.55} \simeq 1 \text{ m} \qquad d_{min} = 0.18 \cdot d_{max} = 0.18 \cdot 1 = 0.18 \text{ m}$$

c) Fläche, Volumen, Gewicht des Blockwurfes:

$$F_{d} = 0.6 \cdot \frac{q^{1.04} \cdot h^{0.52}}{d_{m}^{0.08}} = 0.6 \cdot \frac{4^{1.04} \cdot 5^{0.52}}{0.56^{0.08}} = 5 \text{ m}^{2}$$

$$V_{d} = F_{d} \cdot 1 = 5 \cdot 1 = 5 \text{ m}^{3} , \qquad V_{d_{W}} = 0.58 \cdot V_{d} = 3.5 \text{ m}^{3}$$

$$\text{und wenn } \gamma_{s} = 2.68 \text{ t/m}^{3}$$

$$G_{d_{W}} = 0.58 \cdot V_{d_{W}} \cdot \gamma_{s} = 9.4 \text{ t/m}$$

Tabelle 4

Korndurchmesser		Gewichtsprozent	Gewichtsprozent-	
$o/o d_{max}$	in m	Gewithisprozent	zuwachs pro Durchmesserstufe	
18	0,18	0		
20	0,20	2		
30	0,30	12	10	
40	0,40	27	15	
50	0,50	46	19	
60	0,60	66	20	
70	0,70	82	16	
80	0,80	92	10	
90	0,90	98	6	
100	1,00	100	2	
100	1,00	100	8	

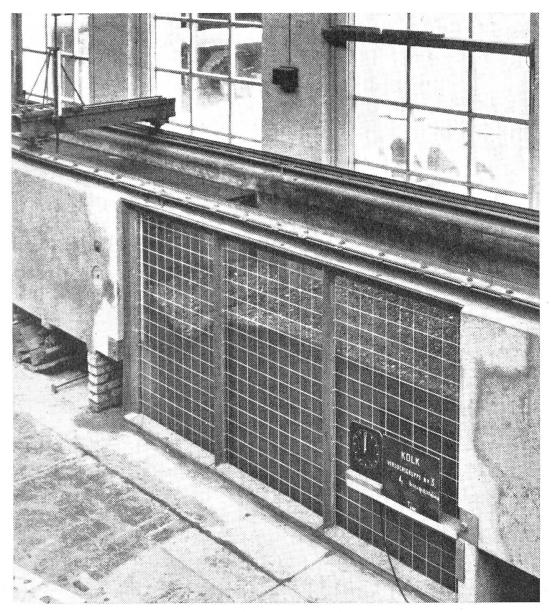


Abbildung 9 Gesamtansicht der Versuchsanordnung

- d) Vergleich der Kornzusammensetzung des Blockwurfes mit derjenigen der Sohlenmischung:
- Kolktiefe:  $h_{s_0} = 2.6 \text{ m}$
- Kolklänge:  $l_{s_0} = 0.97 \cdot \frac{h^{0.45} \cdot q^{0.9}}{d_m^{0.8}} = \frac{0.97 \cdot 5^{0.45} \cdot 4^{0.9}}{0.56^{0.8}} = 10.7 \text{ m}$
- Lage des tiefsten Kolkpunktes:

$$l_a = 1.5 \cdot \frac{h^{0.27} \cdot q^{0.4}}{d_m^{0.08}} = 1.5 \cdot \frac{5^{0.27} \cdot 4^{0.4}}{0.56^{0.08}} = 4.6 \text{ m}$$

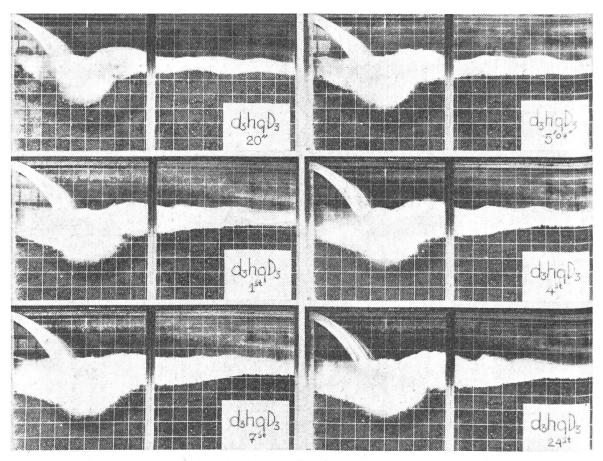
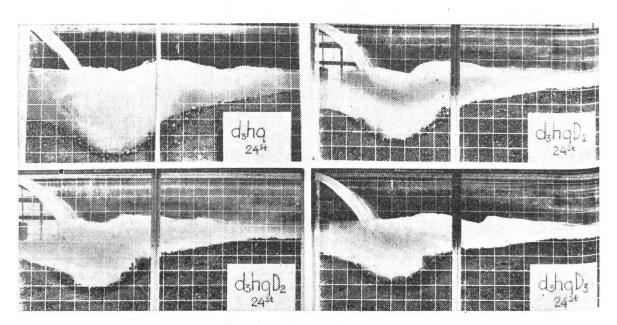
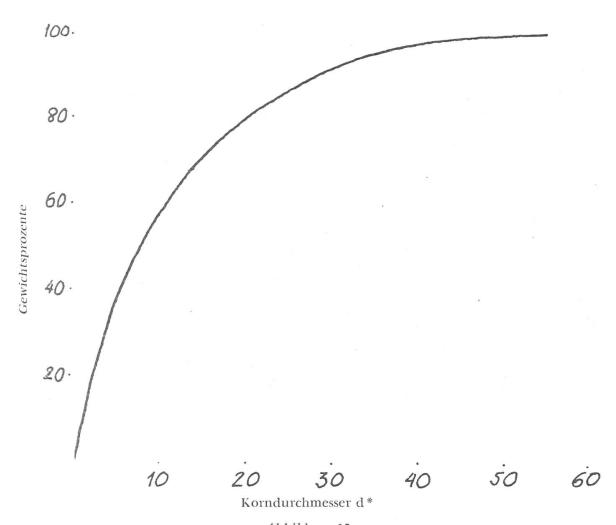


Abbildung 10
Die zeitliche Entwicklung des Kolkes.



\*\* Abbildung 11
Der Kolkendzustand mit und ohne Blockwurf.



 $Abbildung\ 12$ Kornverteilungskurve der Sohlenmischung (Annahme).

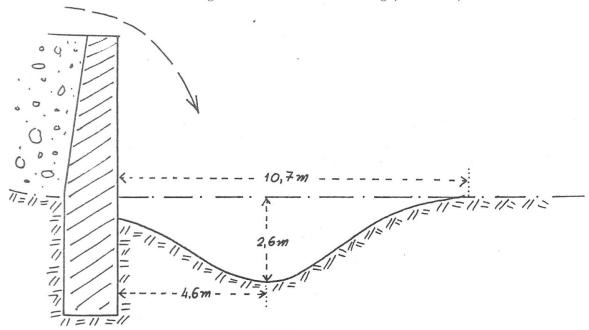
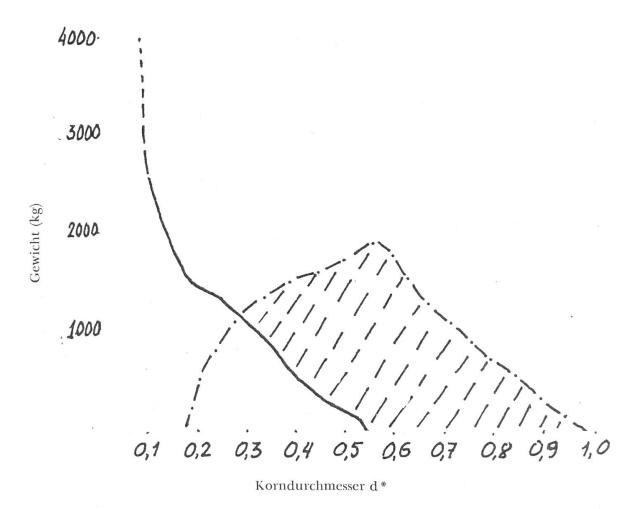


Abbildung 13 Vorauskonstruktion der Kolkwanne.



 $Abbildung\ 14$  Vergleich des notwendigen Blockwurfes mit der Sohlenmischung.

 Vorauskonstruktion und Flächenbestimmung der Kolkwanne (siehe Abbildung 13):

$$F_s = 15 \, \text{m}^2$$
  
 $V_s = 15 \cdot 1 = 15 \, \text{m}^3$   
 $V_{s_w} = 0.7 \, V_s = 10.5 \, \text{m}^3$  wenn  $\gamma_s = 2.68 \, \text{t/m}^3$   
 $G_{s_w} = V_{s_w} \cdot \gamma_s = 28.6 \, \text{t/m}$ 

 Berechnung der Kornzusammensetzung der Sohlenmischung und des Blockwurfes nach Gewicht:

Tabelle 5

Korndurch- messer (m)	Gewichts- prozent	Gewichtsprozent- zunahme pro Durchmesserstufe	Gesamt- gewicht (kg)	Gewicht pro Durchmesser- stufe (kg)	Gewichtsreduk- tion der groben Komponenten (kg)
		I. Sohler	nmischung		
0,00 0,05 0,10 0,15 0,20 0,30 0,40 0,50 0,55	0 40 58 72 82 91 97 99	40 18 14 10 9 6 2	■ 28 600	11 200 5 200 4 182 2 860 2 600 1 700 572 286 28 600	1430 1300 850 286 143
		II. Bl	ockwurf		
0,18 0,20 0,30 0,40 0,50 0,60 0,70 0,80 0,90 1,00		2 10 15 19 20 16 10 6	9 100	180 940 1 400 1 600 1 900 1 400 940 560 180 9 100	

Den Vergleich der Kornzusammensetzung des Blockwurfes mit derjenigen der Sohlenmischung stellt Abbildung 14 dar. Das zu vorbereitende Blockwurfgewicht pro Durchmesserstufe wird in dieser Abbildung schraffiert angegeben. Es hat folgende Kornzusammensetzung (Tabelle 6):

## e) Zusammenfassung der Ergebnisse:

Zur Reduktion der erwarteten maximalen Kolktiefe von 4,3 m um 1,7 m müssen 5,72 t Steinblöcke pro 1 m Kolkbreite mit der in Abbildung 15 angegebenen Kornzusammensetzung eingebracht werden. Das entspricht bei einer Konsolidierungssperre mit einer 5 m breiten Abflußsektion 28,6 t.

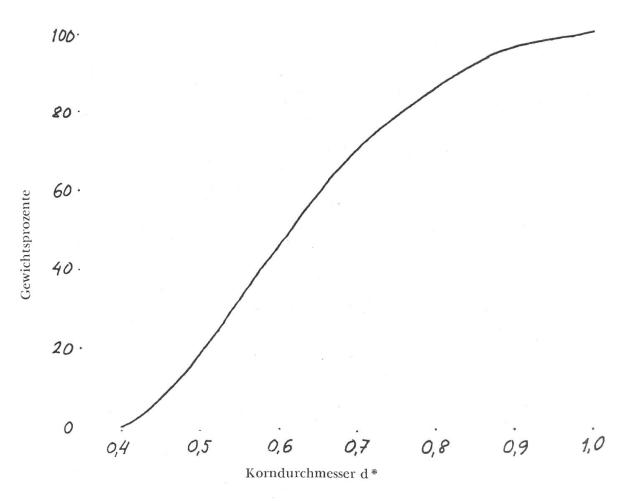


Abbildung 15 Kornverteilungskurve des vorzubereitenden Blockwurfes.

Tabelle 6

Korndurchmesser (m)	Gewicht pro Durchmesserstufe (kg)	Gewicht (kg)	Gewichtsprozent
0,40 0,50 0,60 0,70 0,80 0,90 1,00		1028 2642 4042 4982 5542 5722	18 46 71 87 97 100

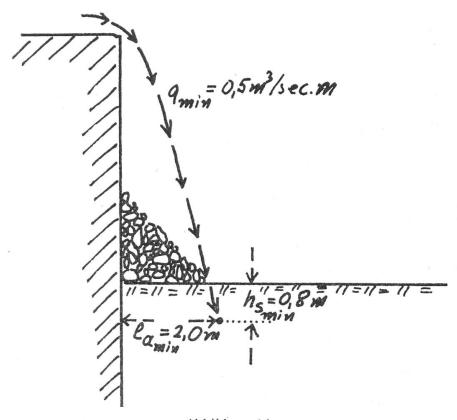


Abbildung 16 Ablagerungsplatz des Blockwurfes.

Ablagerung des Blockwurfes auf der Sohle:

Der Blockwurf muß im Raum zwischen Sperre und Wurfparabel der minimalen Wassermenge abgelagert werden (Abbildung 16).

$$q_{min} = 0.5 \text{ m}^3/\text{sec m}$$
  
 $h_{0min} = 0.8$ ,  $l_{a_{min}} = 2.0 \text{ m}$ 

Maximale Länge des Ablagerungsraumes von der Sperre: 2,0 m (siehe Abbildung 16).

#### Literaturverzeichnis

 $H\ddot{a}rtel\text{-}Winter:$  Wildbach- und Lawinenverbauung. Wien und Leipzig, 1934

Kotoulas, D.: Das Kolkproblem unter besonderer Berücksichtigung der Faktoren Zeit und Geschiebemischung im Rahmen der Wildbachverbauung. Diss. ETH, 1967

Strele, G.: Grundriß der Wildbach- und Lawinenverbauung. Wien, 1950

 $W_{ang}, F.:$  Grundriß der Wildbachverbauung. Leipzig, 1903