

Form und Volumen von Geschiebeanlagerungsplätzen

Autor(en): **Zollinger, Fritz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **78 (1986)**

Heft 7-8

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940858>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Form und Volumen von Geschiebeablagerungsplätzen

Fritz Zollinger

Zusammenfassung

Einleitend werden die Geschiebeablagerungsplätze als Symptombekämpfungsmassnahmen in den grösseren Rahmen der Wildbachverbauung gestellt. Der Artikel skizziert anschliessend fünf Methoden zur Schätzung der Geschiebefracht für die Dimensionierung eines Ablagerungsplatzes. Nach Ausführungen zu Verlandungsgefälle, Wasserrückstau und Beckenlänge werden Erfahrungen und Ergebnisse von Modellversuchen zur Grundrissform von Geschiebeablagerungsplätzen zusammengestellt.

Summary: Shape and volume of debris detention basins

The introduction presents the debris detention basins in the superior frame of integrated torrent control projects as a measure of symptom controlling. The paper goes on with a summary of five methods for the estimation of the sediment and debris yield for the calculation of the basin volume. After some remarks on the slope of the deposits, backwater and length of the basins the paper deals with practical experience and the results of hydraulic model tests on the outline of the basins for their optimal functions (depositions and self cleaning degradations).

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit stützt sich auf wissenschaftliche Untersuchungen, die von 1980 bis 1983 an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) und am Institut für Kulturtechnik der ETH in Zürich durchgeführt worden sind. Die gesammelten Ergebnisse stellte der Autor in seiner Dissertation «Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz – ihre Morphologie und die Möglichkeiten einer Steuerung» ausführlich dar. Im folgenden wird ein Teilaspekt dieser Arbeit ausgeführt.

Die Untersuchungen beruhen einerseits auf der kritischen Besichtigung von über 150 bestehenden Geschiebeablagerungsplätzen in der Schweiz, in Österreich und in Italien, und andererseits auf 630 Modellversuchen im Wasserbaulabor der VAW. Dabei wurde vom Beispiel des in der Zwischenzeit gebauten Geschieberückhaltebeckens am Schächen bei Bürglen (Altdorf, Uri) ausgegangen, für das der

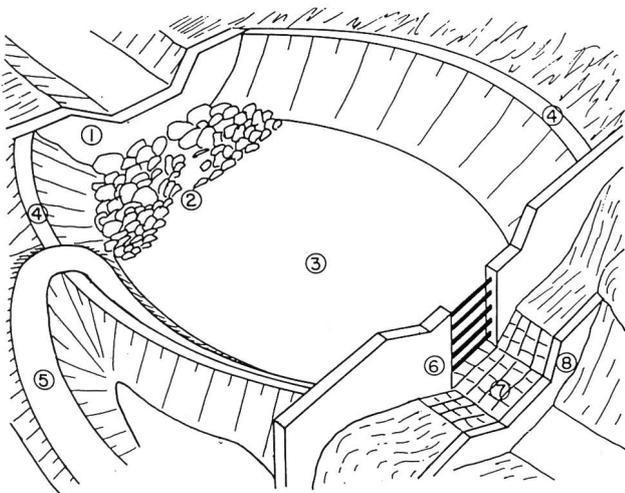


Bild 1. Geschiebeablagerungsplatz mit seinen Teilen: 1 Einlaufbauwerk, 2 Kolk-sicherung, 3 Ablagerungsplatz, 4 Umfassungsdämme, 5 Zufahrtstrasse (Leerung), 6 Rückhaltebauwerk, 7 Kolk-sicherung, 8 Gegenserperre.

Autor an der VAW die Modellversuche durchgeführt hat. Die ältere und neuere Literatur stellt den dritten Grundpfeiler der Untersuchungen dar.

2. Geschiebeablagerungsplätze in Wildbächen

In der Wildbachverbauung kann man zwischen passiven und aktiven Schutzmassnahmen unterteilen. Beim passiven Schutz weicht man den Gefahren aus, beim aktiven begegnet man ihnen mit Verbauungen. Letztere können vor allem bei grossem Siedlungsdruck in gefährdete Zonen kaum vermieden werden. Die folgende Liste gibt für die verschiedenen Schutzmassnahmen der Wildbachverbauung Beispiele:

Passiver Schutz

- planerische Massnahmen
- organisatorische Massnahmen
- Gefahrenzonenpläne
- Nutzungspläne
- Alarmsysteme
- Evakuationspläne

Aktiver Schutz

- Bekämpfung der Ursachen
- Bekämpfung der Symptome
- Erosionsschutz
- Aufforstungen
- Ablenkdämme
- Geschiebeablagerungsplätze

Bewusst wurden die Geschiebeablagerungsplätze ganz zum Schluss aufgeführt. Als Massnahme der Symptombekämpfung sollten sie nur dann vorgesehen werden, wenn alle anderen Möglichkeiten nicht zum Ziel führen. Geschiebeablagerungsplätze ändern an der übergeordneten Gefahr nichts, im Gegenteil, sie konzentrieren die sekundäre Gefahr – die ungebändigten Folgen eines extremen Naturereignisses – mit ihrer Existenz. Diese Erkenntnis ist nicht nebensächlich, sondern sollte dazu führen, dass dem Bau eines Ablagerungsplatzes nicht nur kurze, oberflächliche Planungen vorausgehen. Erst nach sorgfältigen Abklärungen, Bestandesaufnahmen und Variantenstudien soll nach bestem Wissen entschieden werden.

Hin und wieder haben auch Symptombekämpfungsmassnahmen ihre Berechtigung. Oft ist man gezwungen, vor grösseren Verbauungen im Oberlauf oder Einzugsgebiet eines Wildbaches auf dem Schwemmkegel einen Ablagerungsplatz zu bauen. Diese Sofortmassnahme soll die Unterlieger so lange schützen, bis die Massnahmen weiter oben wirksam werden. Im weiteren darf man nie vergessen, dass man die natürlichen Erosionsvorgänge, die im Einzugsgebiet eines Wildbaches besonders stark sind, nie ganz unterbinden kann, selbst mit noch so guten Aufforstungen und ohne Waldsterben nicht. Unter diesem Gesichtspunkt sind die Ablagerungsplätze für die Unterlieger sinnvolle Haus-, Hausrat- oder gar Lebensversicherungen. Nach Überlieferungen stammen die ältesten, bekannten Geschiebeablagerungsplätze aus der Zeit um 1500. Vor allem im letzten Jahrhundert begannen die Wildbachverbauer mit der Grundrissform zu experimentieren. Einige Beispiele werden weiter unten angeführt. In jüngerer Zeit konzentrieren sich diese Experimente vor allem auf die Rückhaltebauwerke, die im folgenden aber nicht zur Diskussion stehen.

Der Autor definiert den Geschiebeablagerungsplatz als kleines (Oberfläche unter 10000 m²), nicht dauernd eingestautes Becken, das einer zeitweisen oder definitiven Ablagerung von Wildbachgeschiebe dient. Bei Hochwasser soll es Geschiebespitzen brechen, bei kleineren Abflüssen hingegen ermöglichen, das abgelagerte Geschiebe unter Umständen wieder auszuspülen. Die Schemaskizze eines Ablagerungsplatzes mit seinen Teilen zeigt Bild 1.



Bild 2. Geschiebeablagerungsplatz des Oltschibaches bei Meiringen.

3. Zum Ablagerungsvolumen

Allgemeines

Bei der Planung eines Ablagerungsplatzes ist die Frage nach seiner Grösse eine der wichtigsten, geht es doch einerseits um Sicherheit und andererseits um die Beanspruchung von Landwirtschaftsland oder gar von Bauzonen. Leider kann die zu erwartende Geschiebefracht nicht einfach oder mit einer klaren Formel berechnet werden. Zudem hängt sie oft wesentlich von Randbedingungen ab, wie Länge, Form und Gefällsverhältnisse des Beckens, Art des Rückhaltebauwerkes, Zusammensetzung (Wasser, Geschiebe, Treibholz) und Ganglinie des Hochwassers, Kornverteilung des Geschiebes, geplante Entleerung des Beckens. Trotzdem gibt es einige Möglichkeiten, die Geschiebefracht abzuschätzen. Sie sind im folgenden kurz skizziert und dürfen nie nur einzeln angewandt werden, weil die Abschätzungen zu unsichere Ergebnisse bringen.

Die zu erwartende Geschiebefracht

Denudation

Die heute bekannten Abtragsraten unserer Gebirge basieren in erster Linie auf wiederholten Seegrundaufnahmen in Flussmündungsgebieten (Deltavermessung). Bestimmt wurden in der Regel Mehrjahresfrachten aus grossräumigen, geologisch komplex zusammengesetzten Einzugsgebieten. Daraus abgeleitete theoretische jährliche Geschiebefrachten für kleine Einzugsgebiete können deshalb nur zu groben Kontrollen verwendet werden, da sie die Zwischenakkumulation im Einzugsgebiet, die Stochastik und eine Unterteilung zwischen Schwebstoffen und Geschiebe nicht berücksichtigen. Auch entstehen bedingt durch Hangbewegungen, Rutschungen, Felsstürze, Lawinen u. a. lokal extrem grosse Unterschiede, so dass die Abtragungsraten zwischen einer harmlosen mm-Dimension

pro Jahr bei Jungschuttherden im Urgestein und einer folgeschweren Dimension bis zu Dekametern pro Jahr in Lockermassen bei Tiefen- und Seitenschurf streuen.

Schwemmkegel

Aus dem Schwemmkegel eines Wildbaches kann bei bekanntem Alter eine jährliche Geschiebefracht abgeleitet werden. Meistens ist allerdings weder das Alter noch das Kegelvolumen (abzuschätzende, darunterliegende Talverfüllung, Überlappungszonen mit Nachbarkegeln) einfach zu schätzen. Das Problem der Jährlichkeiten und Diskontinuitäten bleibt bei dieser Methode ebenfalls ungelöst.

Erfahrungswerte aus extremen Ereignissen

Meistens wird der Anstoss zu einer Wildbachverbauung durch ein Extremereignis gegeben. Damit existieren mindestens Schätzungen, wenn nicht sogar Messungen der Geschiebefracht (abgelagerte Kubaturen). Eine Dimensionierung aufgrund solcher Daten ist zweckmässig, vor allem wenn man versucht, Vergleiche mit früheren Ereignissen und den folgenden beiden Methoden zu ziehen.

Allgemeine Angaben über spezifische Geschiebefrachten sind nicht sinnvoll, weil diese lokal extrem variieren können. So brachte beispielsweise bei seinen verheerenden Überflutungen der Schächen 1977 aus 100 km² etwa 200 000 m³ Geschiebe, d. h. 2000 m³/km², der Durnagel hingegen 1944 aus 19 km² sogar 450 000 m³ Geschiebe, d. h. 23 000 m³/km². In anderen Bächen genügen möglicherweise wenige hundert m³/km² zur Auslösung grösserer Überflutungen.

Beurteilung des Einzugsgebietes

In oft aufwendigen Feldbegehungen durch den Spezialisten wird das ganze Einzugsgebiet quantitativ und qualitativ als Geschiebelieferant beurteilt. Diese Schätzungen im Feld – nie nur aufgrund von Luftbildern! – liefern die besten und

zuverlässigsten Grundlagen für die Dimensionierung eines Geschiebeablagerungsplatzes. Sie setzen allerdings Erfahrungen und viel Verständnis für die Erosionsvorgänge voraus.

Formeln für die Berechnung

Berechnungsformeln sind begehrt, weil sie zu «eindeutigen» Ergebnissen führen. Sie sind mit Vorsicht zu verwenden, so lange man nicht genau weiss, wie sie hergeleitet worden sind. Zur Schätzung der Geschiebefracht gibt es keine zuverlässige Formel. Die folgenden vier Möglichkeiten sind als Schätzhilfen aufgeführt, sie dürfen nie nur einzeln und ohne weitere Überlegungen angewandt werden.

Berechnung nach Hoffmann: Der Literatur (Hoffmann 1970) ist nicht zu entnehmen, wie die folgende Formel entstanden ist. Sie scheint auf eher theoretischen Überlegungen zu beruhen, ist aber nicht dimensionsrichtig. Das Ergebnis ist mit grosser Vorsicht zu verwenden.

$$G_{tot} = 323 \cdot c \cdot b \cdot d_m \cdot (0,1 + 4 \cdot I) \cdot z$$

Darin bedeuten

- G_{tot} = Totale Geschiebefracht eines Hochwassers in m^3
- c = Faktor zwischen 1,0 (extrem erosive Verhältnisse) und 0,5 (Wildbäche im Hügelland mit gutem Bewuchs)
- b = Bachbreite in m
- d_m = Mittl. Korndurchmesser in cm
- I = Gefälle des Gerinnes in %
- z = Dauer des Hochwassers in Stunden

Berechnung nach Kronfellner-Kraus. Die Formel von Kronfellner-Kraus (1982) basiert auf Analogieschlüssen, die aus dem Vergleich verschiedener Einzugsgebiete entstanden sind, und gilt für gefährliche, aktive Wildbäche. Wie die Formel von Hoffmann beruht sie auf Erfahrungen in den österreichischen Alpen. Der K-Wert für die Erosionsrate schwankt zwischen 500 (grosse, gut bewachsene Einzugsgebiete) und 1500 (steile, kleine Gebiete mit ausgedehnten Geschiebeherden und aktiver Erosion).

$$G_{tot} = K \cdot E \cdot I \quad \text{Dabei bedeuten}$$

- $K = 1750 / e^{0,018 \cdot E}$
- E = Einzugsgebiet in km^2
- I = Bachgefälle in %

Berechnung nach Schoklitsch: Die Originalpublikation zu dieser Formel konnte nicht ausfindig gemacht werden, so dass nach Schaffernak (1950) zitiert ist. Angaben über die Herleitung sind nicht bekannt.

$$G_{tot} = \alpha \cdot (Q_{tot} \cdot E)^{0,2} \quad \text{Dabei bedeuten:}$$

- Q_{tot} = Jahreswasserfracht in m^3
- E = Einzugsgebiet im km^2
- α = Beiwert für Wildbäche zwischen 1600 und 4500 (grosse Erosion)

Berechnung mit Hilfe des Geschiebetriebes: Mit der von Smart und Jäggi (1983) erarbeiteten Gleichung für den Geschiebetrieb in steilen Gerinnen kann die Feststofftransportrate in Gebirgsbächen mit Gefällen bis zu 20% berechnet werden. Die Formel lautet in vereinfachter Form:

$$q_B = 2,5 \cdot q \cdot I^{0,6} \cdot (I - d_m/12,1 \cdot h_m)$$

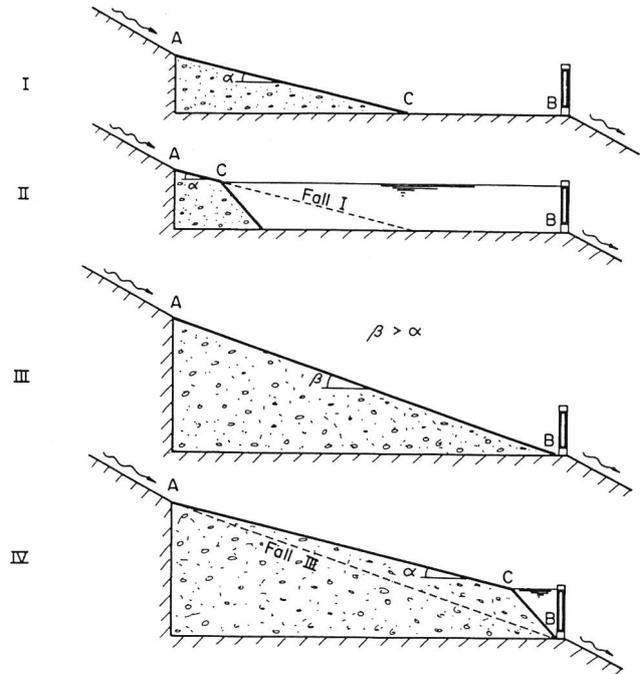


Bild 3. Die Füllung eines Geschiebeablagerungsplatzes im Längsschnitt in Abhängigkeit von Wasserstau und Gefälleverhältnissen (Kommentar im Text).

Dabei bedeuten:

- q_B = Feststofftransportrate in m^3/s
- q = Reinwasserabfluss in m^3/s
- I = Gefälle als tg des Winkels
- d_m = mittlerer Korndurchmesser in m
- h_m = Abflusstiefe des Gemisches in m

Das Verhältnis zwischen der Abflusstiefe des reinen Wassers und jener des Gemisches beträgt bei $J = 20\%$ 0,5, bei 10% 0,8 und nähert sich bei 0% dem Wert 1,0. Dazwischen kann ungefähr linear interpoliert werden.

Mit dieser Beziehung kann der maximale Geschiebetrieb berechnet werden, falls weder Seiten- noch Tiefenerosion im Gerinne stattfindet und die Sohle in Bewegung ist (keine Deckschicht vorhanden). Die wirklich transportierten Mengen machen meistens nur einen Bruchteil dieser berechneten Transportrate aus, weshalb diese Methode nur bei angenommener Ganglinie und in Kombination mit anderen Überlegungen sinnvoll ist.

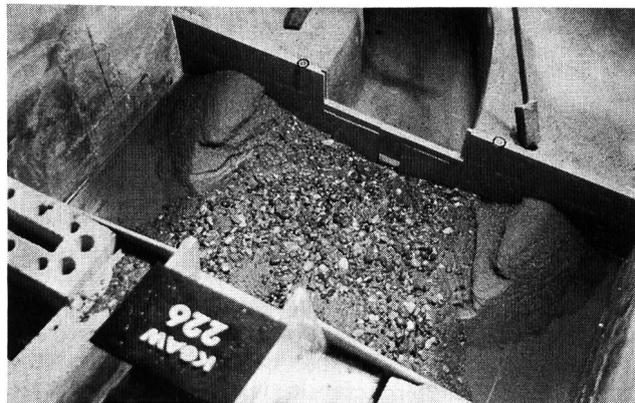


Bild 4. Endstadium des Modellversuches 226: Bei sehr kurzen und breiten Ablagerungsplätzen entstehen nur bescheidene Ablagerungen mit dünenartigen Pyramiden aus Feinmaterial an den Stellen der seitlichen Wasserwalzen. Fließrichtung von unten nach oben.

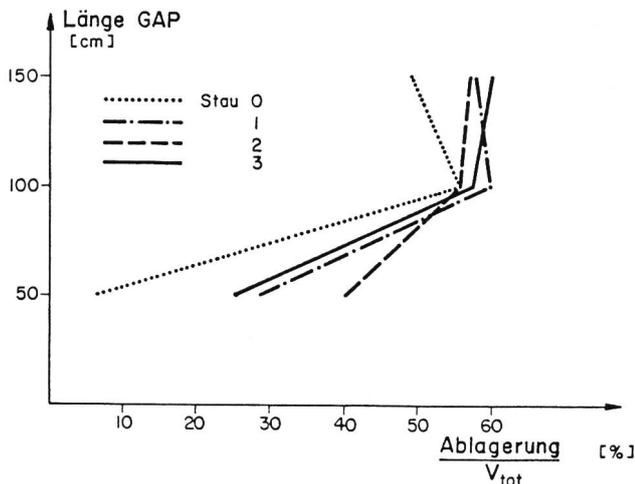


Bild 5. Die Ablagerungen von 12 Modellversuchen mit gleichen Geschiebefrachten in Prozent des gesamten Beckenvolumens in Abhängigkeit von der Beckenlänge und den Stauverhältnissen. GAP steht für Geschiebeablagungsplatz; V_{tot} = totales, theoretisch vorhandenes Ablagerungsvolumen; Stau 0 = kein Wasserstau während des Versuchs; Stau 1 und 2 sind Zwischenwerte.

Weitere Faktoren zur Optimierung des Beckenvolumens

Das Verlandungsgefälle

Für die Bestimmung des Verlandungsgefälles kommen vor allem drei Möglichkeiten in Frage: Kopieren natürlicher Verhältnisse, Berechnung nach *Hampel* oder *Smart/Jäggi*.

Kopie der Natur: Die Methode berücksichtigt die Verhältnisse im Bach am besten und sollte darum wenn immer möglich angewendet werden, indem man an der Stelle oder in der Nähe des zukünftigen Ablagerungsplatzes das natürliche Verlandungs- und Ausgleichsgefälle ausmisst.

Verlandungsgefälle nach Hampel: *Hampel* (1974) stellte aufgrund von Modellversuchen eine Formel auf, die er in der Natur mit zum Teil befriedigendem Erfolg verifizizierte:

$$J = 2 \cdot G^{0,625} + (28,5 - G) \cdot d_m \quad \text{Dabei bedeuten:}$$

- J = Verlandungsgefälle in ‰
- G = Geschiebeanteil der Abflussmenge in ‰
- d_m = mittlerer Korndurchmesser in m

Für die Gültigkeit der Beziehung wird ein Geschiebeanteil von maximal 28,5% des Wasserabflusses angegeben.

Geschiebetrieb nach Smart/Jäggi: Die bereits angeführte Beziehung ist sehr zuverlässig, hat aber den Nachteil, dass mehr Unbekannte eingegeben werden müssen als bei *Hampel*. Im konkreten Fall wird es nicht einfach sein, für Korndurchmesser, Feststofftransportrate, Reinwasserabfluss und Abflusstiefe Werte anzunehmen. Durch ihre Variation kann das gesuchte Gefälle aber eingegabelt werden.

Der Wasserrückstau im Becken

Ob ein Wasserstau im Ablagerungsplatz vor- oder nachteilig ist, hängt von seiner Anordnung (Höhendifferenz zwischen Ein- und Auslauf) und vom Verlandungsgefälle ab. In Bild 3 werden vier Situationen gezeigt. Im Fall I ist das natürliche Verlandungsgefälle (A-C) grösser als das Gefälle zwischen dem Einlaufgerinne und der Sohle des Rückhaltebauwerkes (A-B). Da das Ablagerungsgefälle des Geschiebes unter Wasser bedeutend grösser ist als jenes über Wasser, wird das Ablagerungsvolumen reduziert, wenn bei der gleichen Situation ein Wasserstau im Becken vorhanden ist (Fall II). Falls hingegen das Verlandungsgefälle (A-C in Fall IV) kleiner ist als jenes zwischen Ein- und Auslauf (A-B in Fall III), bewirkt ein Wasserstau im Becken (Fall IV) eine Vergrößerung des Ablagerungsvolumens, das sich einstellt ohne Wasserstau (Fall III). Je kürzer ein Ablagerungs-

platz und je grösser sein in jedem Fall erwünschter Einlaufabsturz ist, desto eher treten die Fälle III und IV ein, womit ein Wasserstau zu einer besseren Nutzung des vorhandenen Beckenvolumens führt. Das heisst allerdings nicht, dass der Ablagerungsplatz immer unter Wasser stehen muss – dies wird aus verschiedenen Gründen nicht empfohlen –, sondern bedeutet, dass die Öffnungen des Rückhaltebauwerkes so dimensioniert sein sollen, dass der Wasserstau ab einer bestimmten Wassermenge eintritt.

Die Beckenlänge

Die Länge eines Ablagerungsplatzes kann für wirkungsvolle Ablagerungen zu kurz sein, wenn die Rückhaltesperre bei extremem Hochwasserabfluss im Bereich des Wassersprunges oder wenig unterhalb davon liegt. Das meiste Geschiebe wird dann durch das Becken transportiert. Die seitlichen Walzen führen auch bei sehr breiten Becken zu unbedeutenden Ablagerungen von feinerem Material (Bild 4). Ist eine selbsttätige Entleerung erwünscht, kann das Becken aber auch zu lang sein. Wenn der entstehende Schwemmkegel die Rückhaltesperre nicht erreicht, kann keine Spülung von grösserem Material eintreten. Aus Bild 5 kann man entnehmen, dass es für eine gegebene Geschiebefracht eine optimale Länge für das Ablagerungsbecken gibt. Für detaillierte Optimierungen, die selten notwendig sind, drängen sich Modellversuche im Labor auf.

Ist die Geschiebefracht nicht begrenzt, bzw. wenn a priori klar ist, dass das Becken nur einen Teil davon aufnehmen kann, oder wenn man erst maschinell eingreifen will, wenn die Kapazität des Ablagerungsplatzes ausgeschöpft ist, muss noch ein weiteres Ergebnis der Modellversuche erwähnt werden. Bild 6 zeigt die Resultate einer Versuchsreihe mit drei rechteckigen Becken von 50, 100 und 150 cm Länge (alle 100 cm breit). Die Becken wurden mit sechs aufeinanderfolgenden Geschiebefrachten beschnitten, welche die Beckenkapazitäten volumemässig aufaddiert um ein Vielfaches übertrafen. Aus dem Diagramm sieht man, wie kurze, breite Becken prozentual viel schlechter gefüllt werden (im Beispiel bleiben 57 bis 68% des Beckenvolumens ungenutzt) als lange, schmale Ablagerungsplätze (Beispiel: 14% bleiben leer). Mit angepassten Grundrissformen (siehe Abschnitt 4) können diese Ergebnisse noch verbessert werden.

Die Ursache für dieses Resultat dürfte hauptsächlich darin liegen, dass – wie mit den Modellversuchen gezeigt werden

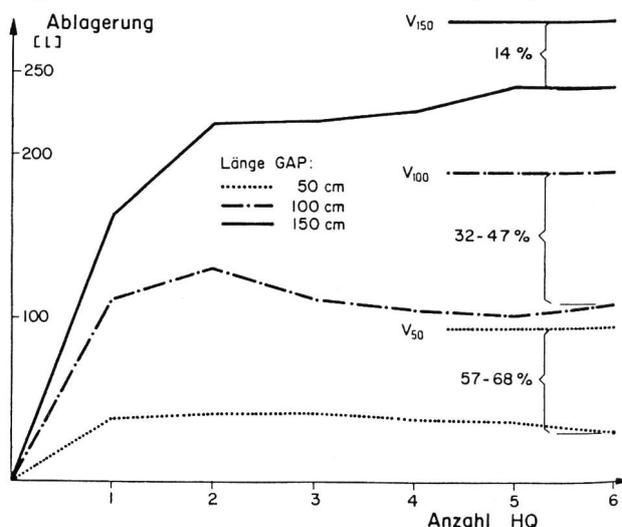


Bild 6. Die Füllung von drei Ablagerungsplätzen im Verlauf von sechs aufeinanderfolgenden Hochwasserwellen (HQ) bei gleicher Beckenbreite (100 cm) und verschiedener Länge (50, 100 und 150 cm). V_{50} , V_{100} , V_{150} = maximale Speichervolumina für die drei Becken (50, 100 und 150 cm). Geschiebefracht jedes Ereignisses 170 l.

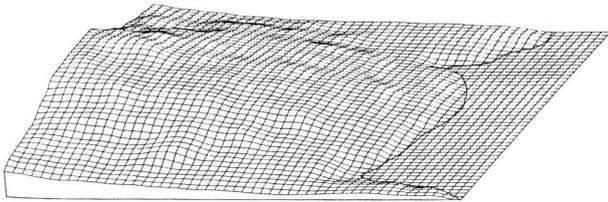


Bild 7. Photogrammetrische Auswertung und Darstellung als digitales Geländemodell des Versuches 155: Durch die seitlichen Begrenzungen entsteht eine gestörte Ablagerungsform mit Sekundärkegeln links und rechts des Hauptkegels. Der mittlere Teil des Hauptkegels kann grob als geneigte Ebene betrachtet werden.

konnte (Bild 7) – bei langen Ablagerungsplätzen als gestörte Form der Ablagerungen der Mittelteil eines Schwemmkegels gebildet wird. Dieser nähert sich mit zunehmender Länge einer geneigten, gebogenen Ebene, womit seitlich immer kleinere Kubaturen unausgenützt bleiben und damit der Füllungsgrad des gesamten Beckens verbessert wird.

4. Zur Grundrissform

Erfahrungen

Bereits die ersten Erbauer von Geschiebeablagerungsplätzen versuchten durch Variationen des Grundrisses optimale Ablagerungen zu erhalten. *Weber* (1967) gibt einen

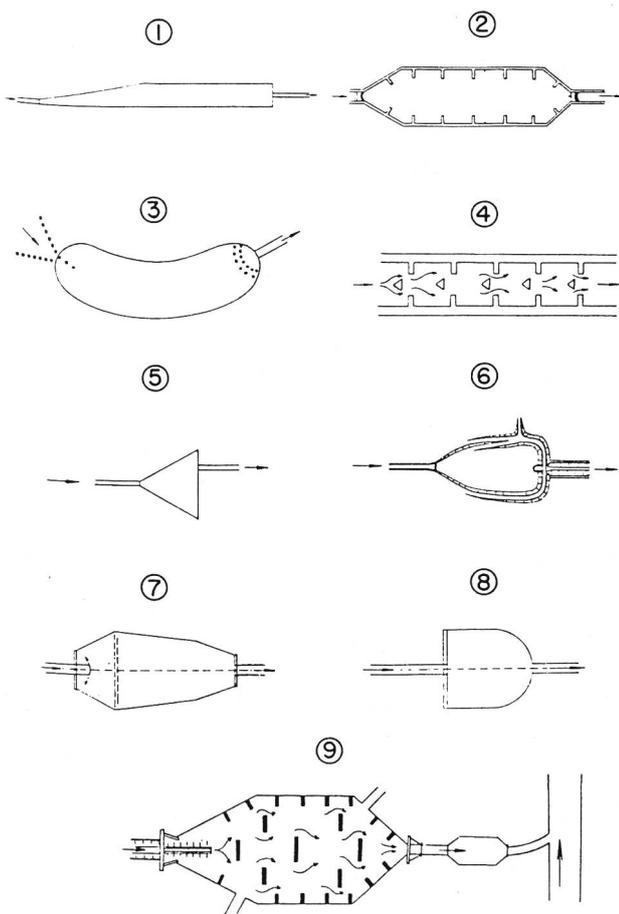


Bild 8. Alte Formen von Geschiebeablagerungsplätzen nach *Weber* (1967): 1 Mittelalterliche Form um 1500 (Banngebiet oder Wassermauer), 2 Venetz'sche Kammer um 1825, 3 Nierenförmiger Ablagerungsplatz bei Mollis 1854, 4 «Labyrinth» von *Scipion Gras* 1857, 5 Ablagerungsplatz Schliere (Glarus) nach *Legler* 1868, 6 Form nach *Wey* um 1907 am Oberrhein, 7 Geschiebesortieranlage nach *Weber* 1935 (Trennwand soll Grobgeschiebe hinten zurückhalten), 8 Form nach *Kerschbaumer* 1955, 9 Geschiebeablagerungsplatz nach *Weber* (um 1960) mit bis ins Becken geführter Einlaufkühnette.

Querschnitt durch die Entwicklung dieser Formen (Bild 8). Aus vielen in den vergangenen Jahrhunderten gebauten Ablagerungsplätzen folgten vor allem vier wichtige Erkenntnisse zur Gestaltung des Grundrisses:

- Rechteckige Formen bewähren sich nicht, da Ecken nicht strömungsangepasst sind (reduzierte Ablagerungen, keine Spülungen).
- Extrem lange und sehr breite Grundrisse sind ungünstig.
- Eine Dimensionierung entweder im Hinblick auf optimale Ablagerungen oder aber auf gute Spüleffekte ist relativ einfach und realistisch. Das Erreichen beider Ziele gleichzeitig ist hingegen nicht einfach.
- Zwei Grundrissformen haben sich gut bewährt, nämlich die Birnenform mit Stiel nach oben (langsame Aufweitung nach dem Einlauf, rasche Verengung gegen die Rückhaltesperre) und jene mit Stiel nach unten.

Alle obigen Hinweise und die folgenden Ergebnisse beruhen auf einer dreifachen Zielsetzung:

- Ablagerungen des Geschiebes während des Hochwassers
- selbsttätige Entleerungen nach dem Hochwasser
- optimale Nutzung des Beckenvolumens.

Ergebnisse aus den Modellversuchen

Wie schon *Hampel* (1968) mit Modellversuchen zeigte, kann man die Grundrissform den natürlichen Ablagerungsformen der Schwemmkegel anpassen, auch wenn dadurch das Beckenvolumen nicht optimal genutzt wird, wie die eigenen Untersuchungen ergaben. Zudem ist eine solche Anpassung von *Hampel* nur im Hinblick auf die Ablagerungen vorgesehen. Sollen auch effektvolle Spülungen möglich sein, so sind diese Grundrissformen nicht mehr geeignet.

Mit den eigenen Modellversuchen wurde versucht, die Grundrissform zu eruieren, die der natürlichen Spülung am besten entspricht. Leider gelang dies nicht befriedigend, da sich keine der drei erwarteten, extremen Formen gehäuft einstellte (beide Birnenformen, langgestreckter Erosionscanyon). Meistens entstand eine Mischung zwischen den beiden Birnenformen, das heisst eine Art Zwetschge oder Zitrone.

Anhand von 11 quantitativ ausgewerteten Spülversuchen ergab sich dann aber eindeutig, dass sich für effektvolle Spülungen die Grundrissform der Birne mit Stiel nach oben am besten bewährt. Der Grund dafür dürfte vor allem darin liegen, dass die Wasserströmung im oberen Teil, das heisst in den mächtigsten Ablagerungen, an einer Ausbreitung gehindert wird und damit effektvoller spült. Zudem sind die Erosionsränder bei ungehinderter Spülung praktisch auf der Höhe der Rückhaltesperre seitlich jeweils noch relativ weit weg von der Abflussöffnung. Auch diese Tatsache berücksichtigt die Birnenform mit Stiel nach oben gut (Bild 9).

5. Abschliessende Bemerkungen

Verschiedene, von Fall zu Fall wichtigere oder weniger wichtige Randbedingungen konnten in den kurzen Ausführungen nicht gebührend oder gar nicht behandelt werden. So können unter anderem folgende Grössen für die Anlage eines Ablagerungsbeckens wesentliche Rollen spielen: Ganglinien von Wasser und Geschiebe, Kornverteilung und Konzentration des Geschiebes, Anfall von Treibholz, zulässige Belastung des Unterlaufes. Auch sie können einen massgebenden Einfluss auf Volumen und Form eines Beckens haben.

Volumen und Grundrissform sind zwei der wichtigsten Parameter eines Geschiebeablagerungsplatzes in der



Bild 9. Birnenförmiger Ablagerungsplatz (Stiel nach oben) im Modellversuch. Fließrichtung des Wassers im Bild von unten nach oben.

Wildbachverbauung. Sie sind aber nicht die einzigen. Als weitere wichtige Elemente müssen das Einlaufbauwerk und vor allem die Rückhaltesperre erwähnt werden. Diese vier Teile spielen zusammen und sollten darum bei jeder Dimensionierung und schon vorher bei der Planung als vierteilige Einheit beachtet werden. Betrachtet und dimensioniert man einen dieser vier Teile allein für sich ohne Berücksichtigung der Wirkungen der anderen drei, so kann dies nur zu schlechten, inhomogenen Lösungen führen. Der interessierte Leser scheue sich darum nicht, für die Projektierung die weiterführende Literatur zu konsultieren und die Erfahrungen anderer zu nutzen, auch wenn diese immer mit Vorbehalten von einem Fall auf den anderen übertragen werden müssen. Der vorliegende Beitrag hatte nicht zum Ziel, vollständige Projektierungsgrundlagen zu geben, sondern vielmehr hinweisend und anregend die summarischen Ergebnisse von Untersuchungen zu zwei Teilaspekten eines Geschiebeablagerungsplatzes in der Wildbachverbauung zu geben.

Literatur

Zollinger F.: Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz – ihre Morphologie und die Möglichkeiten einer Steuerung. Diss. ETH Nr. 7419, 1983, 265 p.

Hampel R.: Geschiebeablagerungen in Wildbächen, dargestellt in Modellversuchen. «Wildbach- & Lawinerverbauung», Hefte 1 und 2 1968, 100 p.

Hampel R.: Die Wirkungsweise von Wildbachsperrern. «Wildbach- & Lawinerverbauung», Heft 1 1974, p. 2–79.

Hoffmann L.: Die Hochwasserdurchflussmengen bei Balkensperren. «Wildbach- & Lawinerverbauung», Heft 1 1976, p. 59–63.

Kronfleiner-Kraus G.: Über den Geschiebe- und Feststofftransport in Wildbächen. «Österreichische Wasserwirtschaft», Heft 1/2 1982, p. 12–21.

Schaffernak F.: Flussmorphologie und Flussbau. Springer Verlag Wien, 1950, 115 p.

Smart J., Jäggi M.: Bestimmung der Feststofftransportkapazität in Steilgerinnen. Symposium Interpraevent 1984, 10 p.

Weber A.: Die Zwischenakkumulation von Wildbachgeschiebe in Ablagerungsplätzen. «Centralblatt für das gesamte Forstwesen», Wien, 1967, p. 383–399.

Adresse des Verfassers: Fritz Zollinger, Dr., dipl. Kulturing. ETH, Meliorations- und Vermessungsamt Kanton Zürich, Kaspar-Escher-Haus, 8090 Zürich.

Hochdruck-Prüfstand für Pelton-turbinen

Raymond Chenal

Warum Versuche an Modellmaschinen?

Wasserturbinen gehören zu den grössten und stärksten Maschinen, die je von Menschenhand gebaut wurden. Allein dieser Satz beantwortet schon einen guten Teil der oben gestellten Frage.

Schon wegen ihrer Grösse eignen sich hydroelektrische Gruppen schlecht für experimentelle Versuche im Massstab 1:1. Trotzdem werden solche Versuche immer unentbehrlicher. Auch der damit verbundene Aufwand wird ständig grösser, da die geforderten Leistungsgrenzen immer höher angesetzt werden.

So können auch nur sehr kleine Änderungen des energetischen Wirkungsgrades – um nur diesen einen Aspekt der Leistungsfähigkeit einer hydraulischen Turbomaschine zu streifen – zu nennenswerten Leistungsgewinnen führen. Bei gewissen Francis-turbinen grossen Abmessungen erreicht oder überschreitet der äussere mechanische Wirkungsgrad sogar 95%, was bedeutet, dass auf diesem Gebiet der Abstand, der das hergestellte Produkt von der physischen Vollkommenheit trennt, immer kleiner wird und dass dadurch die noch machbaren Fortschritte immer aufwendigere und leistungsfähigere Forschungsmittel verlangen.

Auf dieser Forschungsstufe entgeht der Fortschritt der mathematischen Analyse, trotz der fabelhaften Entwicklung, die die letztere in den vergangenen Jahren – vor allem dank der Informatik – gekannt hat.

Im weiteren spielt sich das Forschen nach höchster Leistungsfähigkeit vor allem auf der Ebene des wirtschaft-

Bild 1. Hochdruck-Versuchsstand für Pelton-turbinen. Auf der Plattform ist ein sechsstrahliges Modell eingebaut.

