

ÜBER OFFENE WILDBACHSPERREN

von

Gottfried Kronfellner - Kraus

EINLEITUNG

Anlässlich der vergangenen Hochwasserkatastrophen hat es sich unter ähnlichen, vergleichbaren Verhältnissen immer wieder gezeigt, daß es vor allem dort zu verheerenden Schäden gekommen ist, wo Verklausungen durch Wildholz und Grobgeschiebe möglich waren. Ist der Bachlauf an Engstellen, Brückenobjekten und ähnlichem auch nur zum Teil versperrt, tritt sofort ein Rückstau ein, der Geschiebeablagerungen, Sohlenhebungen, Ausuferungen und Vermurungen zur Folge hat. Es liegt daher der Wunsch nahe, neben konventionellen auch über zusätzliche Bautypen zu verfügen, die möglichst nur Wildholz und Grobgeschiebe an ungefährlichen Stellen abfangen, sonst aber das übrige Geschiebe passieren lassen. Auch liegt der Gedanke nahe, solche Wildholz- und Grobgeschiebefänger in Fertigteilbauweise nach einem Baukastensystem zu erstellen, sodaß eine Bevorratung und in Katastrophenfällen ein rascher Pioniereinsatz möglich ist.

Sowohl im In- als auch im Ausland liegen die Ansätze zu einer solchen Entwicklung bereits weit zurück und auch die weitere Entwicklung ist im vollen Fluß. Neben der zweckentsprechenden Konstruktion interessieren bei diesen Bautypen vor allem die tatsächlichen Verlandungsvorgänge und Beanspruchungen. Um zu einer Klärung auf diesem Gebiet beizutragen, wurde in Zusammenarbeit mit der Österreichischen-Alpine Montangesellschaft eine gegenüber bekannten Typen offenere Konstruktion entwickelt und im Verein mit der Forsttechnischen Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung, und zwar den Sektionen Salzburg und Villach, in zwei Hochgebirgswildbächen der praktischen Erprobung und Bewährung ausgesetzt. Ein vom Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung der FBVA durchgeführtes Meßprogramm soll mithelfen, die Dimensionierungsgrundlagen für solche Werke zu verbessern, d.h. über die tatsächlichen Beanspruchungen und über das tatsächliche Tragverhalten brauchbarere Werte zu erhalten.

Die folgende Abhandlung soll einen Überblick über den derzeitigen Stand der Entwicklung und Versuche auf diesem speziellen Gebiet vermitteln. Die Probleme der Feststoffracht (Geschiebe, Schweb, Schwemmsel, etc.) und der Stauraumverlandung und Entleerung sollen nur insoweit, als es der Besprechungsgegenstand unbedingt erfordert, behandelt werden, da eine genauere Erörterung dieser komplexen Themen weit über den gegenständlichen gesteckten Rahmen hinausgehen würde. In diesem Sinne wurde die einschlägige Literatur, soweit zugänglich, verarbeitet. An der herkömmlichen Terminologie wurde weitgehend festgehalten, sofern die Definitionen eindeutig sind.

Für die Ermöglichung der Versuchsdurchführungen sei allen beteiligten Herren der Forsttechnischen Abteilung für Wildbach- und Lawinenver-

verbauung, insbesondere den Herren Ministerialrat Dipl. Ing. Alfred GSCHWENDTNER, Abteilungsleiter im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, w. Hofrat Dipl. Ing. August ÜBLAGGER †, Leiter der Sektion Villach, und w. Hofrat Dipl. Ing. Hubert KOIDL, Leiter der Sektion Salzburg, bestens gedankt. Für die gute Zusammenarbeit bin ich den zuständigen Gebietsbauleitern, Herrn Oberforstrat Dipl. Ing. Friedrich HOFFMANN in Zell am See und Herrn Forstrat Dipl. Ing. Heinrich NOISTERNIG in Villach, sehr verbunden und für ihre wertvollen Erfahrungen, Mitteilungen und Photos zu Dank verpflichtet. Auch den Herren Oberforsträten Dipl. Ing. Emil LEYS und Dipl. Ing. Dr. Julian STRITZL danke ich für die zur Verfügung gestellten Lichtbilder.

Naturgemäß gestaltete sich die Zusammenarbeit mit der Herstellerin der Gitterrostsperrn, der Österreichischen Alpine-Montangesellschaft, besonders enge. Die ÖAMG hat durch teilweise Materialbeistellung bei der Konstruktion und den elektronischen Berechnungen einen aktiven Anteil an der Entwicklung genommen. Die für Neuentwicklungen sehr aufgeschlossene Werksleitung der Maschinenfabrik Zeltweg beauftragte das Konstruktionsbüro für Stahlbau zur Mitarbeit. Für diese Mitarbeit, die insbesondere im Abschnitt 2) zum Ausdruck kommt, und für die zur Verfügung gestellten Unterlagen wird herzlichst gedankt.

Der Abschnitt 3) Versuchsdurchführung stützt sich besonders auf die hauptsächlich von meinem Mitarbeiter Dipl. Ing. Gerhard RUF gemachten und ausgewerteten Alignement- und Lot-Messungen, die er in einem eigenen Beitrag ausführlicher behandelt hat. Für diese Mitarbeit danke ich ihm und allen jenen Damen und Herren, die bei den gegenständlichen Versuchen und Arbeiten mitgeholfen haben.

Der Geschieberückhalt in Wildbächen erfolgt im wesentlichen durch Sperren und in Ablagerungsplätzen. Im Vorliegenden ist das Thema auf die neueren Entwicklungen der verschiedenen Sperrentypen eingengt. Dafür erscheint vorerst eine Begriffsbestimmung zweckdienlich.

Als wesentliches Merkmal gilt allgemein, daß eine "Sperre", zum Unterschied von einem Wehr, vom höchsten Hochwasser nicht benetzte Hänge unter Wasser setzt (TÖLKE 1938). Da auch im Zweck eine klare Abgrenzung gegenüber anderen Fachgebieten, wie dem Kraftwasserbau, notwendig erscheint, ist noch eine genauere Definition erforderlich. In diesem Sinne wird als "Wildbachsperre" ein Stauwerk verstanden, das einen Wildbach (Wildbachgraben) absperrt, zwischen 2 und 15 m hoch ist und den Zwecken der Wildbachverbauung dient (Hebung der Bachsohle, Konsolidierung, Geschieberückhalt, im Gegensatz zum Stau des Wassers als Hauptzweck bei einer Sperre des Kraftwasserbaues). Sperren über 15 m Höhe, die nach dem österreichischen Wasserrechtsgesetz (und Staubeckenverordnung) mit Rücksicht auf die größere Bedeutung und Verantwortung als "Talsperren" gekennzeichnet sind, können hier ebenso außer Betracht bleiben wie die kleineren Querwerke, d.s. die Grundswellen mit weniger als 2 m Fallhöhe. Da nach der Verlandung von Sieb- oder Gitterwerken die neue Bachsohle mindestens zeitweilig wesentlich über die bisherigen Höchsthochwasserbereiche zu liegen kommt, sind auch vollkommen durchlässige Querwerke, auch wenn sie kleinere Hochwässer gar nicht stauen sollten, nach dieser Definition "Wildbachsperren". Die untere Grenze von 2 m Fallhöhe entspricht den durchschnittlichen Hochwasserwellen in Wildbächen und ist seit WANG (1901/03) festgelegt.

Die Besprechung der verschiedenartigen neuen Sperrentypen erfordert eine gewisse Gliederung. Diese ist vielgestaltiger als im Kraftwasserbau, weil bei Wildbachsperren verschiedene Elemente, der Massivbau und die verschiedenen Gitterkonstruktionen, zu einem einzigen Querwerk verbunden sind. In diesem Sinne kann man unterscheiden: a) Sperren mit mehr oder weniger vollem Sperrenkörper, nur durch kleinere oder größere Dolen unterbrochen. Zu diesen sind auch bestimmte Sonderformen zu rechnen mit bergseitig stehendem oder auch liegendem Geschiebe-Rost (Pkt. 11 12)

b) Sperren in aufgelöster Bauweise, das sind Sperren mit einer oder mehreren, mehr oder weniger großen Öffnungen, die meistens bis zur Krone reichen. Diese Öffnungen können offen bleiben (Schlitzsperre Pkt. 13) oder aber auch durch Dammbalken, Gitter und Roste geschlossen sein. (Pkt. 14 - 16). Eine weitere Untergliederung ist insofern vorgenommen, als zwischen Sperren mit einem Rost in einer

Ebene (geneigt oder vertikal, Pkt. 14 und 15) und solche mit einem abgestützten Rost (räumliche Konstruktion, Pkt. 16) unterschieden wird. Ferner ob die Konstruktion vollkommen bis zu den Ufern offen (Pkt. 15), oder ob das eigentliche Sieb oder das Gitter in einem Massivbau eingebaut ist (Pkt. 14 und 16). Letzten Endes unterscheiden sich die

- (1) bisher genannten Typen mit Lastabtragung in einer Ebene von
- (2) solchen mit räumlicher Lastabtragung.

Die verschiedenen Bauweisen und Konstruktionen und ihre Benennungen sind allerdings so vielfältig und ineinander übergehend, daß eine klare Einordnung bestimmter, ausgeführter Bauten oft schwerfällt. Die hier vorgenommene Untergliederung soll jedoch nur dazu dienen, sich sonst wiederholende Beschreibungen gruppenweise zusammenzufassen. Innerhalb der einzelnen Gruppen wird die Entwicklung in chronologischer Folge aufgezeigt.

1.1 Konventionelle Sperrentypen

Die klassischen, technischen Bautypen zum Schutz gegen unerwünschte Erosion und Sedimentation sind Konsolidierungssperren, Geschiebestausperren und Ablagerungsplätze (die nicht weiter behandelt werden). Darüber hinaus beschrieb bereits SECKENDORF 1884 eine "Thalsperre" im Wildbach Riou-Bourdoux der Basses-Alpes in Frankreich mit einer Fallhöhe von 8 m, in deren unterem Teil fünf und in deren oberem Teil sechs große Wasserdurchlässe angebracht waren. Diese Dolen waren an ihrer bergseitigen Öffnung mit einem festen Eisengitter versehen, um nur Wasser und flüssigen Schlamm durchzulassen und so die Bildung einer haltbaren und widerstandsfähigen Verlandung zu ermöglichen. Es ging also zunächst darum, die Konstruktionen von den zeitweiligen oder ständigen Wasserdrücken zu befreien. Diese Maßnahme war, ebenso wie jene der allmählichen Erhöhung mit der fortschreitenden Verlandung, von allem Anfang an charakteristisch für Wildbachsperren und von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Denn der Wasserdruck ist im allgemeinen wesentlich größer als der Druck des Verlandungsmaterials und es können durch die Ausstattung der Wildbachsperren mit Dolen, bzw. durch den Etappenbau, die Sperrenausmaße nicht unerheblich eingeschränkt werden (WANG 1901/03, BERNARD 1920). Es waren also zunächst statische Gründe, die auf die Entleerungsfunktion aufmerksam machten.

Die günstige Wirkung der Dolen aber lag auch darin, Mittelwässer und das kleinere, unschädliche Geschiebe durchzulassen, während Hochwässer und Muren gestaut und zur Ablagerung des größeren Geschiebes gezwungen wurden. Die einer Auflandung nachfolgenden geschiebefreien Mittelwässer führten oftmals zu einem "Geschiebeaustausch", d. h. das kleinere Geschiebe wurde aus der Verlandung abgetriftet, während das

größere Geschiebe mit einem größeren Ausgleichsgefälle abgelagert wurde. Da also durch Dolen die Aufnahmefähigkeit des Verlandungsraumes in gewissen Fällen erheblich vergrößert werden konnte, wurden die positiven Erfahrungen bald zur Methode erhoben und nannte man diese Art Querwerke "Entleerungssperren" (HÄRTEL - WINTER 1934, STRELE 1950, WEBER 1964).

Alle Autoren (HÄRTEL - WINTER 1934, STRELE 1950 und folgende) weisen darauf hin, daß die Voraussetzung für das Funktionieren der "Entleerung" das Vorhandensein ausreichender Spülwässer ist. Die Gesamtgröße der Dolen soll dann derart bemessen sein, daß die einzelnen Dolenreihen imstande sind, auch geschiebeführendes Mittelwasser ungehindert und ohne Stau durchfließen zu lassen, während die Einzel-Größe der jeweiligen Dolenöffnungen so dimensioniert sein soll, daß die Breite der Dolen der dreifachen Längenausdehnung der größten noch abzutriftenden Geschiebestücke entspricht (WEBER 1964). Um ein zu rasches Verlegen der Dolen und Durchlässe durch angeschwemmtes Treibzeug, Steine und dergleichen zu verhindern, werden die verschiedensten Vorkehrungen getroffen. Da diese Teilkonstruktionen direkt zu unserem Besprechungsgegenstand überführen, seien die wichtigsten Ausführungsarten und Vorschläge näher besprochen.

Die bereits bei SECKENDORF (1884) erwähnten Eisengitter sind bald durch Körbe und Rechen ersetzt worden, denn in Dolen angebrachte Eisengitter sind schwer zugänglich und können nach einer Verstopfung kaum mehr freigemacht werden. Man hat daher versucht, durch entsprechende Ausbildung der Körbe und Rechen die Entleerungsfunktion möglichst lange zu erhalten und die Freileigungsarbeiten zu erleichtern. Die hölzernen oder eisernen Körbe werden meistens vor einzelne Dolen, oder vor mehrere übereinander liegende Dolen gestellt, während Rechen meistens flächig über alle vorhandenen Dolen einer Entleerungssperre reichen. Die Zwischenräume zwischen Korb oder Rechen und Sperre sollen zugänglich sein und die Körbe und vor allem die Rechen werden vorwiegend schräg gestellt, wobei die Neigung zur Sperre hin eine sehr beachtliche sein kann. Neuere Ausführungen haben LEYS (1965), HOFMANN (1969), KETTL (1969) und WIDAUER (1969) beschrieben, wobei die beiden Letztgenannten kammartige Dolen bis zu einer Größe von 100/300 cm und bergseits sehr weitmaschige, 1:1 geneigte, auf Betonmauern aufliegende Grobrechen zur Ausführung brachten. Durch eine zusätzliche Veränderbarkeit der Dolenquerschnitte sollen die ungefährlichen Frühjahrsschneeschnelzwässer zum Spülen des Staures herangezogen werden (KETTL).

Neben den Körben und Rechen sind auch aus verschiedenen Gründen lotrechte Schächte vor größeren Grundablässen ausgeführt worden. Diese sind meist an einer Seite (bergwärts) offen und durch Stäbe

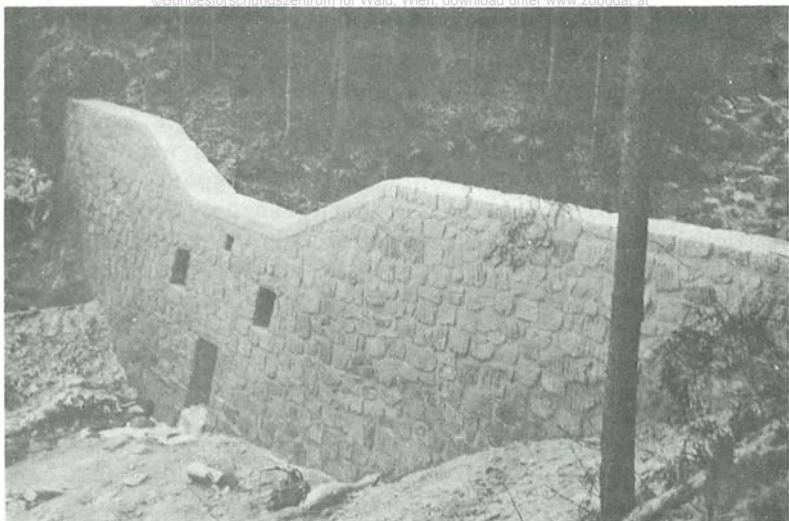


Abb. 1: Wildbachsperrre in konventioneller Ausführung. Vollsperrre mit Do-
len und bergseitigem Geschiebekorb. Lünitzbach Kärnten 1958



Abb. 2: Montage des Geschiebekorbes im Lünitzbach (Abb. 1)

rechenartig verschlossen. Die größeren Grundablässe erlauben einen leichteren Zutritt in das Innere der Schächte und ein leichteres Lösen von Verklausungen (STRELE 1950). Diese Art der Ausführung und Konzentrierung des Durchflusses auf wenige Grundablässe bedeutet, gegenüber den sonst notwendigen zahlreichen Dolen, eine geringere Verschwächung des Sperrenquerschnittes. Deshalb ist auch in den letzten Jahren eine 24 m hohe, sehr schlanke Gewölbesperre (2,5 m Basisstärke und 1,5 m Kronenstärke) in den französischen Pyrenäen mit zwei seitlichen Schächten ausgestattet worden. Die lotrechten Schächte mit quadratischem Querschnitt münden in zwei große (1,5 m $\emptyset$) in der Sperrenbasis eingelassene Grundablässe. Eine Seite der Schächte ist jeweils offen und mit einem vertikalen Rost versehen, der mit der fortschreitenden Verlandung allmählich aufsteigend mit Betonplatten verschlossen wird (BELLAN et MICHEL 1960, BELLAN 1967).

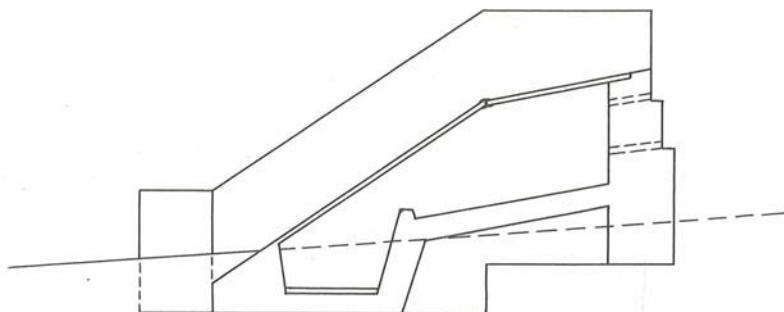
Während die bisher besprochenen Körbe, Rechen und Schächte mit dem Hauptbauwerk, der Wildbachsperre, mehr oder weniger fest verbunden sind, sind auch einige von dem Hauptbauwerk völlig unabhängige Anordnungen bekannt. Es sind dies die Seilrechen aus Stahlseil-Netzen, die aber bei stärkeren Ausführungen schon eigene Querwerke darstellen und später behandelt werden sollen, und die "Einfangwerke aus Pfählen", der SPERLICH (1952) in Modellversuchen untersucht hat, um die günstigste Anordnung der Pfähle zu ermitteln.

1.2 Sonderformen mit liegendem Rost, Filtriersperren

Der bergseitige Entwässerungsschacht ist auch bereits liegend im Gefälle des Hauptgerinnes ausgebildet worden, mit der Absicht, dem anströmenden Wasser/Geschiebegemisch das Wasser zu entziehen und auf diese Weise ein steileres Verlandungsgefälle oberhalb der Sperre zu erreichen und vor allem das Grobgeschiebe zur Ablagerung zu bringen (ROSIC 1956). Mit dieser Bautype soll ein völliges Erlöschen von Wildbächen zustande gekommen sein. Und zwar dadurch, daß das ursprüngliche Bachbett förmlich unter Grobgestein begraben wurde und an die Stelle der vorherigen starken Strömung ein gänzlich ungefährliches und unschädliches Gerinne trat. Diese Methode wurde in Wildbächen Jugoslawiens mit starker Grobgeschiebeführung und vorwiegend felsigem Charakter erprobt. Ob diese Methode in Feinteile liefernden Wildbächen, in denen sich das Verlandungsmaterial bis zur Wasserundurchlässigkeit verdichten kann, ebenso anwendbar ist, erscheint fraglich.

Eine ähnliche Konzeption, nämlich die Trennung der Geschiebematerialien vom Fördermittel Wasser durch einen liegenden Rost, liegt auch der "Filtriersperre" nach CLAUZEL zugrunde (CLAUZEL et PONCET 1963), doch erfolgt im Gegensatz zu allen anderen bisher bekannten Querwerkstypen bei diesem Filtrierwerk die Geschiebeabla-

Schnitt aa



Draufsicht

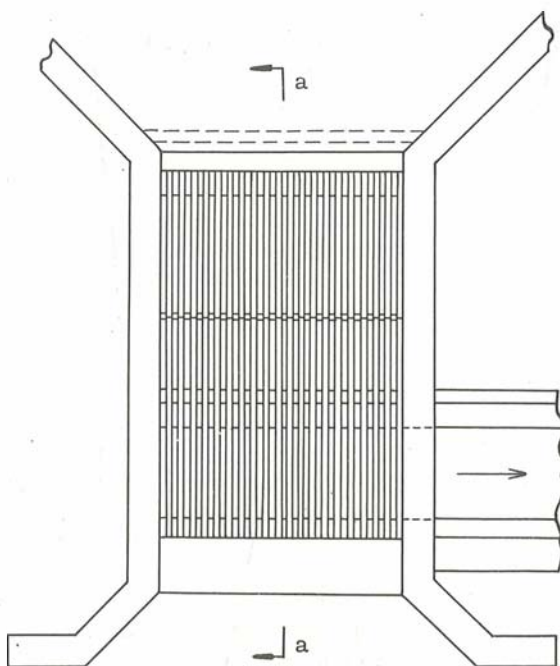


Abb. 3: "Filtriersperre" mit liegendem Rost (CLAUZEL et PONCET 1963) in verbesserter Ausführung mit stärker geneigtem Rost (PUGLISI 1968) in vereinfachter schematisierter Darstellung mit Schnitt und Draufsicht

gerung talseits des Werkes. Das Werk selbst besteht aus zwei Querwerken, die zwischen sich den liegenden Rost tragen, und beiderseitigen Leitwerken, die den Bach über die Anlage führen. Wie bei einem Tirolerwehr fällt das Wasser und das feinere Geschiebe durch den liegenden Rost in einen Kanal und wird durch diesen seitlich ausgeleitet und erst nach dem Geschiebeablagerungsplatz dem Gerinne wieder zu, oder aber überhaupt in einen anderen benachbarten Bach übergeleitet. Unterhalb dieser Filtriersperre befindet sich die eigentliche Ablagerungszone für das Grobgeschiebe. Da dem Wasser-Geschiebe-Gemisch das Fördermittel Wasser größtenteils entzogen wird, wird das Gemisch trockener und grobkörniger und kommt infolgedessen auch im steileren Gelände mit einem steileren Böschungswinkel als sonst zur Ablagerung. Um das Verlegen des liegenden Rostes zu verhindern, hat man diesen konisch angeordnet, d. h. mit bachabwärts sich zunehmend öffnenden Stab-Zwischenräumen. Die bisherigen Erfahrungen ließen Anfangsschwierigkeiten erkennen, welche jedoch in Neubauten beseitigt wurden. So wurde der liegende Rost doppelt und im 2. Teil wesentlich stärker geneigt (60 %, wodurch auch die bergseitige Rostaufgabe erhöht werden muß und zur Sperre wird) und das seitliche Abflußgerinne vergrößert, um jeden Rückstau zu vermeiden (PUGLISI 1968).

Wenn auch diese Filtriervorrichtung hauptsächlich zur Festlegung von Schuttströmen in Trockengebieten gedacht ist, so wird der überraschende Grundgedanke verständlich, wenn wir uns die Gesetze der Schwemmkegelbildung (Pkt. 4) vor Augen halten. Sicherlich wird bei dieser Anlage unter Umständen das Umleitungsgerinne Schwierigkeiten bereiten. Es können sich aber auch günstige Anwendungsmöglichkeiten ergeben, die wenigstens einen Versuch auch für unsere Verhältnisse rechtfertigen würden, wenn auch die Wiederaufnahme des abgelagerten Geschiebes bei Versagen der Bachableitung verlässlich verhindert werden kann.

1.3 Schlitzsperrren

Da der Geschieberückhalt von konventionellen Stausperren unbefriedigend erscheint, hat HOFFMANN (1955) auf eine Möglichkeit der "selbsttätigen Entleerung von Feingeschiebe" hingewiesen, indem man den Sperren eine von der Abflußsektion bis zur Bachsohle reichende Ausflußöffnung gibt. Man hat dann eigentlich keine Sperre im üblichen Sinne mehr vor sich, sondern nur noch im Fundament verbundene, hohe Sperrenflügel. Die Abflußöffnung soll so bemessen sein, daß die Mittelwässer durchfließen, das Hochwasser jedoch gestaut wird. Im letzteren Fall steigt das Wasser im Stauraum an, das Geschiebe bleibt am Ende der Staulinie liegen und das nachkommende Geschiebe rückt gegen die Sperre vor. Die nachfolgenden Mittelwässer nagen sich wieder in den Verlandungskörper ein und sollen das Feingeschiebe nach und nach unschädlich abführen.

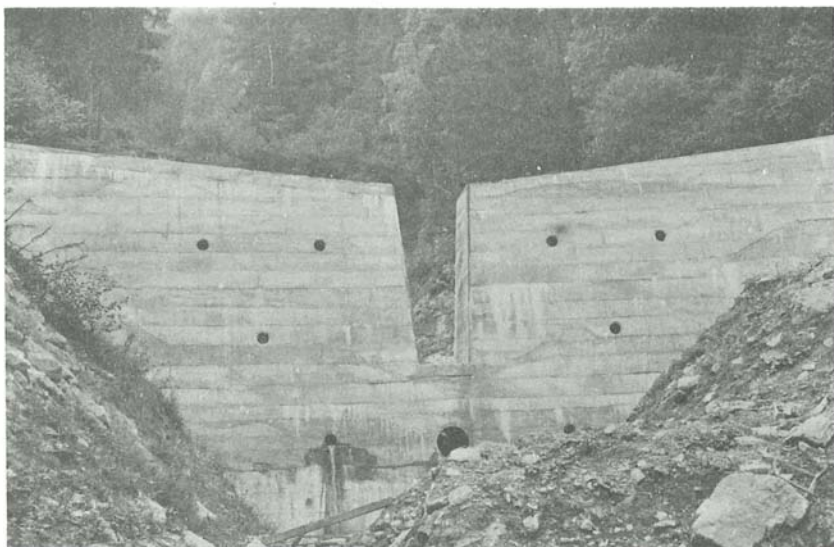


Abb. 4: Schlitzsperre, ausgeführt in bewehrtem Beton. Reißgraben, Mölltal,
Kärnten
Aufn. Dipl. Ing. Dr. Stritzl

Dieser überaus realistische Vorschlag, der die Erfahrungen und Kenntnisse der Stauraumverlandung und -entleerung voll berücksichtigt (Pkt. 4), ist in der österreichischen Verbauungs-Praxis in den verschiedensten Variationen verwirklicht worden. Von den vorgeschlagenen und rechnerisch durchgearbeiteten Lösungen: die trapezförmige und hyperbolische Ausflußöffnung, ist bisher die erstere der Einfachheit halber bevorzugt worden.

1.4 Sieb-, Rechen-, Balken- und Gittersperren

In dieser Gruppe werden alle Querwerke zusammengefaßt, deren Mittelteil von einem ebenen, annähernd vertikalen Rost (Rechen- oder Balkenstäbe) eingenommen wird. Der bieguungssteife Rost liegt meist auf den seitlichen Sperrenflügeln auf, die bei größerer Spannweite eine Verstärkung erhalten müssen. Bei noch größerer Spannweite führt diese Bauart über zu den Pfeilerreihensperren.

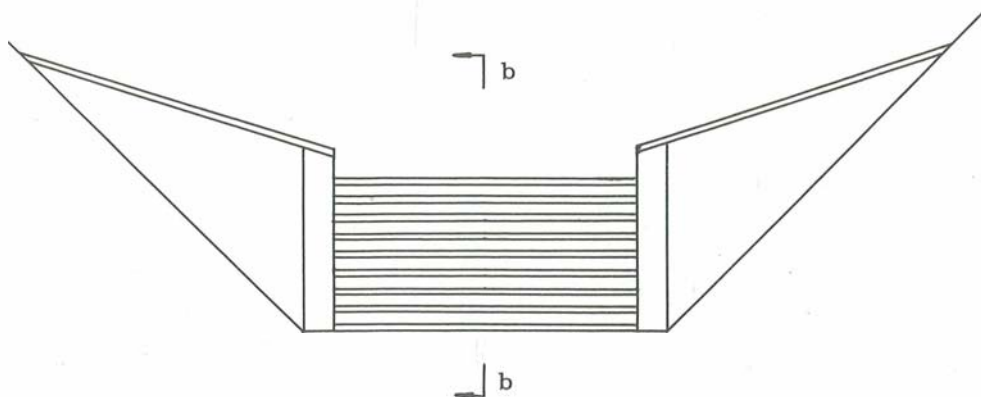
Zunächst ist auch hier zu erwähnen, daß die Idee, den Mittelteil einer Massivsperrre offen zu lassen und durch Balken aus einem anderen, biegefesten Material zu verschließen, schon früh aus sehr verschiedenen Gründen verwirklicht wurde. Neben den Wehren für die Zwecke der Kraftwassernutzung war es in der Wildbachverbauung die sogenannte Tauschwandbauweise nach ZARBOCH (bei STRELE 1950), die den Zweck hatte, den anfälligen, dem Wasser ausgesetzten Mittelteil der Sperre leichter auswechseln und erneuern zu können. Aus einem ähnlichen Grund, um den schädlichen Auswirkungen aggressiver Wässer zu begegnen, wurde zum Beispiel auch im Wildbach von Boscodon eine Wehröffnung mit Lärchenstämmen verschlossen und zwar allmählich, mit der fortschreitenden Verlandung, sodaß letztlich die Holz-Balken Sperre mit Betonflügel eine Gesamthöhe von 12 m erreichte (PONCET 1960). Es liegt nahe, diese Dammbalken rostartig auszuführen. Diese Idee ist nach einer Mitteilung von PONCET seit 1948 in Frankreich mehreren Fachleuten gekommen.

In der "geneigten, filtrierenden Leitersperre, gelenkig und biegsam, nach dem System GENET" (RENEUVE 1955) wird die "Leiter" durch einen Balkenrost gebildet, deren einzelne Sprossen (Balken) beweglich in zwei seitlichen Ufermauern gelagert sind. Diese seitlichen Mauern steigen im gleichen Gefälle wie die Leiter selbst bergwärts an. Auf der Bergseite, wo die höchste Sprosse erreicht wird, sind die beiden seitlichen Längsmauern mit Sperrenflügeln in die seitlichen Hänge eingebunden. Zwischen den Leitersprossen und der Krone der seitlichen Mauern und Flügel befindet sich die Abflußsektion, so daß, wenn der Balkenrost (die Leiter) verstopft und verlandet ist, der Bach kaskadenartig über die Sprossen zwischen den Leitwerken abfließt, wodurch eine größere Kolkwirkung verhindert wird. Die bergwärts aufsteigende Anordnung vergrößert außerdem die Kippsicherheit des gesamten Werkes. Da die Balken gelenkig-beweg-



Abb. 5: Balkensperre mit auswechselbaren Holzbalken und Stahlbetonpfeilern im Keerbach in Niederösterreich, nach der sog. Tauschwandbauweise (ZARBOCH bei STRELE 1950) aus dem Jahre 1936, mit talseitiger (oben) und bergseitiger Ansicht (unten) Aufn. Dipl.Ing. Ruf





Schnitt bb

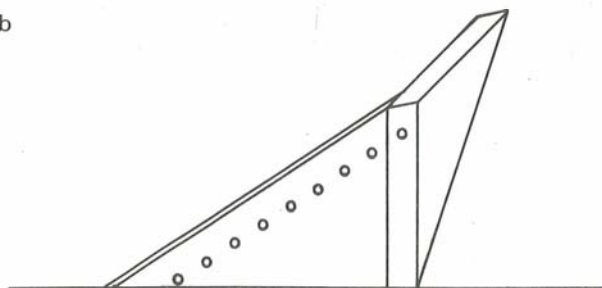
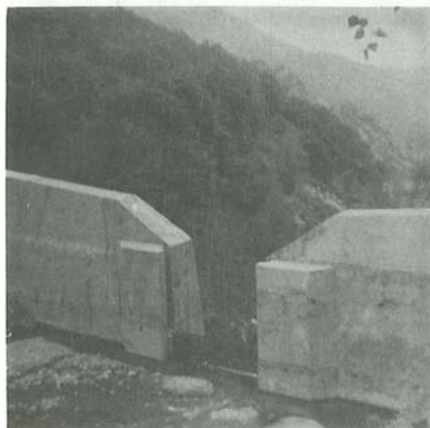


Abb. 6: Schematische Darstellung der "genuined, filtrierende Leitersperre, gelenkig und biegsam, nach dem System GENET" (RENEUVE 1955) in Ansicht und Schnitt

Balkensperre im Perimeter Tech in den Pyrenäen aus dem Jahre 1957
nach MICHEL Aufn. beigestellt von ROY/Prof. PONCET



lich in den Seitenmauern gelagert sind, soll das Werk auch im Stande sein, Bodenbewegungen und Seitenverschiebungen ohne Schaden mitzumachen. Schließlich wird als weiterer Vorteil eine je nach Werkshöhe 40-60%-ige Ersparnis an Baukosten gegenüber konventionellen Bautypen angegeben. Die geneigte Ausführung des Balkenrostes mag nach Vollverlandung und stufenweisem Überfall eine Gefahr für die einzelnen Balken darstellen (Geschiebeaufprall), andererseits könnten die stufenweisen kleinen Kolke dazu beitragen, die Verstopfung zwischen den Balken zu lösen und die Entleerung zu aktivieren. Tatsächlich wurden in Frankreich jedoch hauptsächlich Sperren mit vertikalem Rost ausgeführt, wie z. B. eine 11 m hohe Sperre in den Pyrenäen nach MICHEL im Jahre 1957.

In Österreich (LEYS 1965, 1967, 1968) und in Italien (PUGLISI 1967, 1968, 1969) wurden vor allem Filter-, Rechen- und Balkensperren mit lotrechtem Rost zwischen massiv ausgebildeten und durch das Fundament verbundenen Flügeln erprobt bzw. beschrieben. Während PUGLISI allgemein von "Filtriervorrichtungen" spricht, unterscheidet LEYS zwischen Rechensperren (mit vertikalen) und Balkensperren (mit liegenden Rost-Stäben). Nach LEYS (1968) sind im allgemeinen Balkenbauten den Rechenbauten vorzuziehen, weil durch die waagrechten Schlitzte das Schwemmsel und das kleinere Geschiebe erfahrungsgemäß leichter durchgetrieben werden. In diesem Sinne sind auch die Filtriervorrichtungen PUGLISI's Balkensperren.

Gegenüber Schlitzsperren weisen Balkensperren den Vorteil einer größeren Mittelloffnung auf, die auch, wenn nötig, für Lastkraftwagen, Bagger und Schubraupen fahrbar ausgestaltet werden kann. Allerdings verringert sich das gesamte Durchströmprofil wiederum durch die Balken. Schwierig ist die Bestimmung der Balkenabstände. Diese wurden bisher nach dem im jeweiligen Bache vorhandenen Korngrößen empirisch festgelegt, doch hat PUGLISI (1967) eine auf dem Geschiebeabtrieb nach STERNBERG beruhende Anleitung für die Bestimmung des maßgeblichen Balkenabstandes in Vorschlag gebracht.

Nach den bisherigen Betriebserfahrungen scheinen Balkensperren positiv zu wirken. Die Balkensperren verlanden langsamer als konventionelle Entleerungssperren und entleeren sich zum Teil ohne künstliche Nachhilfe. Auch wenn sie voll mit Grobgeschiebe verlandet sind, bleibt eine Drainagewirkung erhalten, die die Dauerbelastung verringert, gegebenenfalls nasse Seitenhänge entwässert. Das Selektionsvermögen des Filters kann aber rasch verschwinden und sogar in unbewachsenem Gebiet muß es nicht lange währen. Wenn das Gitter nicht mit einem Schlag durch pflanzliches Material verlegt wird, kann es durch die Anlandung größerer Korngrößen nur auf bestimmte Zeit wirken. Nach PUGLISI (1968) sind diese Filtersperren nicht in der Lage, auch nicht im Anfangstadium, die Absonderung von Materialien mit vorgegebenen Abmessungen zu garantieren, sodaß man auch noch andere Typen untersuchen sollte.

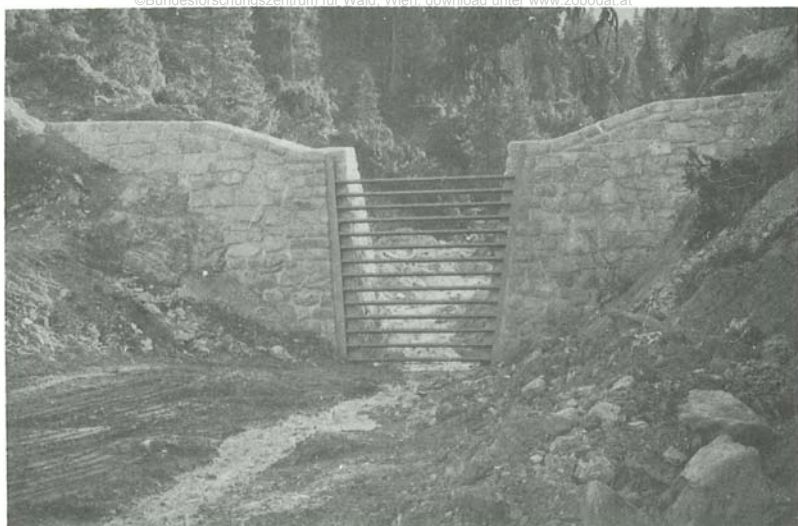


Abb. 7: Balkensperre im Roßbach, Gemeinden Obsteig und Nassereith
Aufn. Dipl. Ing. Leys

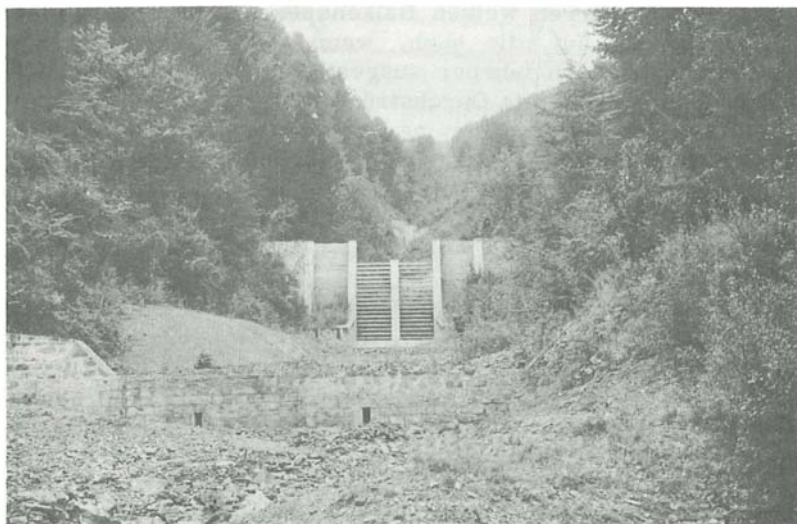


Abb. 8: Pfeilerreihensperre mit vorgefertigten Stahlbetonbalken im Wildbach Cernica, Rumänien.

Bei größeren Rostfeldern und seitlicher Lagerung der Balken müssen die Sperrenflügel verstärkt werden, was bei größeren Spannweiten Pfeiler bedingt. Solche Pfeilerreihensperren sind aus der Literatur bekannt, wie etwa die Eisenbetonsperren im Winklergraben im Salzkammergut und im Keerbach in Niederösterreich (HÄRTEL-WINTER 1934, STRELE 1950), die allerdings Grenzfälle zwischen Entleerungssperren und Balkensperren darstellen. Neuere größere Pfeilerreihensperren in Stahlbetonbauweise mit vorgefertigten Stahlbetonbalken sind vor allem in Rumänien gebaut worden (GASPAR, GOLOGAN et AVRAM 1964, NECULA 1967, KRONFELLNER-KRAUS 1968), und zwar als Balken- und Rechensperren, wobei ökonomische Beweggründe (Vorfabrikation und Fertigteilbauweise) vorgeherrscht haben. Die Anwendung von Stahlbetonbalken für Balken- und Rechensperren erscheint aber in unserem feuchteren Klima und dem hier herrschenden starken Frostwechsel, sowie im Hinblick auf die starke mechanische Beanspruchung gerade bei einer möglichst lange auszudehnenden Geschiebetrifft, etwas bedenklich. Es ist zu befürchten, daß der Beton durch Frost- oder Stoßeinwirkung abbröckelt oder abgeschlagen wird und der Bewehrungsstahl rostet. Es mag aber sein, daß in Trockengebieten solche Bedenken weniger in Betracht gezogen werden müssen.

1.5 Vollkommen offene Gitterwerke

Während in den Zentral- und Ostalpen die Holzbauweise auch in der Wildbachverbauung vor allem bei dauernder Befeuchtung und einem örtlich günstigen Holzangebot gut eingeführt ist, ist in den südlichen Alpen infolge der dort herrschenden starken Sonnenbestrahlung die Verwendung von Holz unmöglich. Man hat sich deshalb schon früh auf die Verwendung von Profilstahl und Eisenbahnschienen umgestellt und sind die seit 1954 erstellten, leichten Stahl-Bauten durchaus bemerkenswert; nicht zuletzt deshalb, weil sie gegenüber konventionellen Sperren nur ein Viertel an Kosten erfordern sollen (PONCET 1960, GRAC 1964).

Bei den sogenannten Stahlrostschwellen handelt es sich um einbetonierte Eisenpfähle, die durch waagrechte Balken gitterartig miteinander verbunden und mit Weidenruten verflochten werden, welche Methode an die Pfahlbauweise von SCHINDLER (1889) erinnert. Für den Besprechungsgegenstand sind die Balkensperren interessanter: Deren einzelne waagrechte Balken sind direkt in die felsigen Einhänge in Abständen von 40 bis 60 cm einbetoniert. Nur wenige Vertikalträger stützen die horizontalen Balken in Abständen von etwa 3 - 4 Metern ab. Die größte beschriebene Spannweite betrug etwa 10 m bei einer Werkschöhe von 4 - 5 m. Voraussetzung für diese Bauweise sind tragfähige, felsige Hänge, wie sie im Jungschuttwildbach "Vallon de Farine" bei Digne in den Basses Alpes vorhanden sind. Die von GRAC (1964) ge-

wählte Konstruktion war eine sehr leichte Ausführung für einen sehr kleinen Wildbach (0,6 km² Einzugsgebiet). Bei entsprechender Verstärkung dürfte aber diese überaus einfache Bauweise auch für Hochwasser- und Murenbäche geeignet sein.

Ungefähr zur selben Zeit wie GRAC hat MONNET (1966) im Jahre 1953 begonnen, verschiedene Arten von Netzwerken zu erproben. Um den Wasserdruck auszuschalten, den Erddruck zu verringern, nur grobes Geschiebe zurückzuhalten und das Wasser möglichst frei ablaufen zu lassen, soll die Sperre aus einem Gitter bestehen, das nur die gröberen verfrachteten Elemente festhält. Da hinter den gröberen unvermeidlich die "ganze Tonleiter" der wandernden Geschiebestücke aufgehalten wird, soll die gewählte Maschenweite möglichst groß sein. Die Vorderwand der Netzsperre soll vertikal sein, um den Wasser- und Geschiebeaufschlag auf die Sperrenvorderseite nach Verlandung zu vermeiden. Da die Werke vollkommen durchlässig sind, hält er es für notwendig, die Ufer und die Sohle durch Stahlschürzen abzudichten. Bei diesen vollkommen durchlässigen Werken hält MONNET die Vorfeldsicherung für besonders wichtig, welche ebenfalls mit Netzkonstruktionen erreicht wird. Die Konstruktionen selbst bestehen entweder aus "Vorhängen", d. s. hängend montierte Netze, oder aus liegenden "Klapptaschen", d. s. durch Gestelle (Gerüste) und Ankerseile so montierte kastenförmige Netze, daß bachaufwärts die Öffnung zu liegen kommt und das Geschiebe, so zu sagen, fischreusenartig gefangen wird. Das Geschiebe, das auf das Unterlagsnetz zu liegen kommt, trägt automatisch zur Stabilisierung des gesamten Werkes bei. Die Werke, die mit einer Breite von etwa 20 m und über 2 m Höhe ausgeführt wurden, stellten sich wesentlich billiger, als vergleichbare konventionelle Bauten. Während die beschriebenen Netzwerke anscheinend in Jungschuttbächen erprobt wurden, schlägt MONNET für Murenbäche stärkere Konstruktionen (z. B. U-Bootfangnetze) mit einer sehr großen Maschenweite vor. Die Höhe auch dieser Werke soll nach seiner Ansicht beschränkt bleiben, um den Erddruck nicht zu sehr anwachsen zu lassen, und eine größere Rückhaltekapazität durch eine entsprechende Sperrentreppe erreicht werden. Die über zehnjährigen Beobachtungen und Erfahrungen auch bei Hochwässern führten allerdings zu verschiedenen Schlüssen. So weist PONCET (1966) unter anderem darauf hin, daß bei den Netzwerken die Instandhaltung, das Kolk- und Überfall-Problem und die Ausbildung der Sperrenkrone überaus schwierig ist, und die bei Seilabspannung talwärts konvexe Form nicht günstig für die Ufer sein kann.

Tatsächlich sind aber in Rußland größere Seilnetzwerke als Murenfänger in sehr robuster Form erbaut worden (DUJSENOV 1966). So wird zum Beispiel das Dorf und Bergwerk Tekeli vor Murgängendurch eine größere Seilsperre geschützt. Der Seilrost dieses Werkes besteht aus annähernd waagrecht gespannten starken Trossen, die mit annähernd vertikal gestellten Eisenbahnschienen durch große Seilklemmen fest mit einander

Ansicht

Schnitt cc

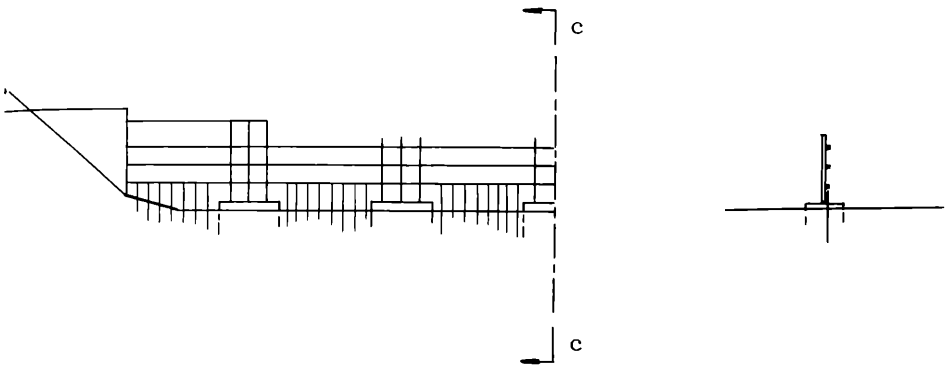


Abb. 9: Stahlrostschwelle (GRAC 1964, PONCET 1960), in schematisierter Darstellung in Ansicht und Schnitt. Lotrechte Stahlpfähle sind in Betonsockeln fundiert und durch waagrechte Balken verbunden. Zwischen den untersten waagrechten Balken und der Bachsohle befindet sich ein Flechtwerk, wodurch die Verlandung eingeleitet wird

Ansicht

Schnitt dd

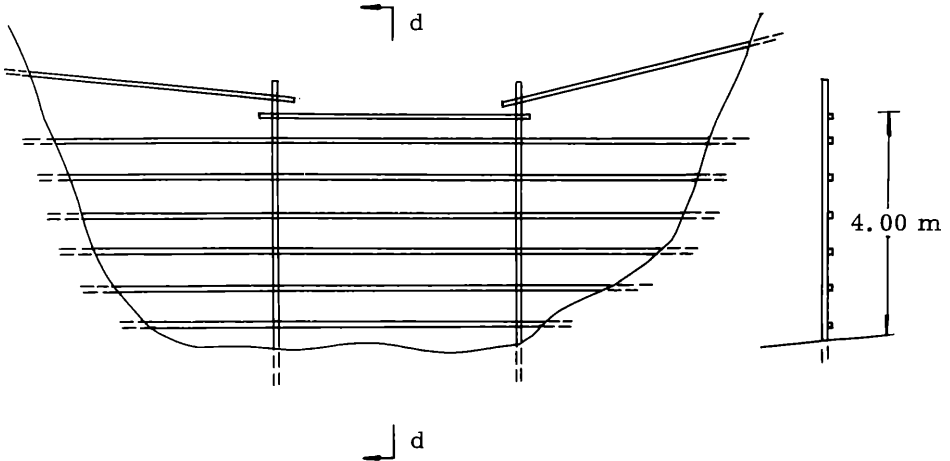


Abb. 10: Vollkommen offene Balken- oder Gittersperre (GRAC 1964) in schematischer Darstellung mit Ansicht und Schnitt. Die waagrechten Stahlprofil-Balken sind direkt im Fels verankert. Vallon de Farine in den Basses Alpes, Frankreich

verbunden sind. Die Maschenweite dieses Rostes beträgt etwa $0,5 \times 0,5$ m. Das Fundament des Werkes dürfte nach der benützten Darstellung eine Betonsohlgurte sein (DUJSENOV 1966).

In Österreich sind Seil- oder Netzsperrren hauptsächlich als Seilrechen vor Entleerungssperren ausgeführt worden. Da die Seile bergwärts der Sperre verankert sein müssen, sind sie von den eigentlichen Querwerksbauten unabhängig. Wie bei MONNET und DUJSENOV, wurde das Seilnetz (Maschenweite 40×80 cm) vorhangartig hängend (Laufenbergerbach, Kärnten) und in Richtung der angenommenen Zugbeanspruchung im Grundriß bachabwärts bogenförmig (Maschenweite ca 50×100 cm) ausgeführt (Grießbach, Osttirol). Im letzteren Falle müssen die einzelnen Seile allerdings durch Vertikalträger (Abstandhalter) und Seile in der gewünschten Lage gehalten werden. Eine Sortierung der Geschiebe fand allerdings nicht statt, vielmehr verlegten sich die Netze vollkommen mit Treibzeug.

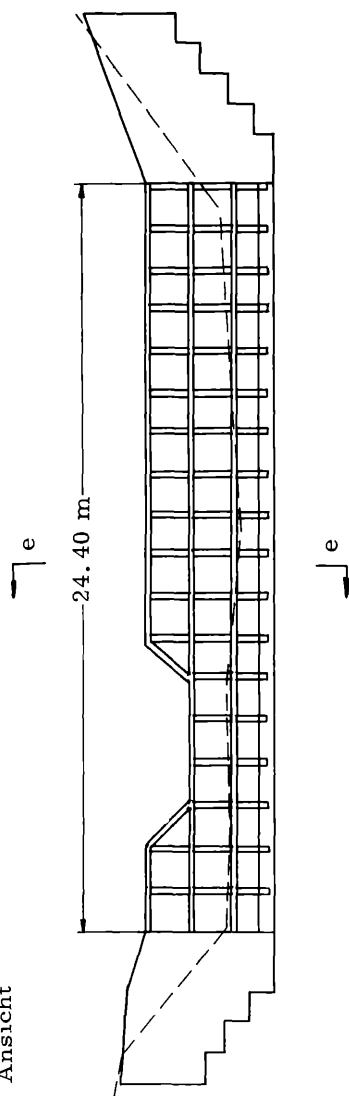
Abgesehen von der Erhaltungsfrage, insbesondere der Gefahr des Durchrostens (ein dauerndes Einfetten wie bei Seilbahnen ist nicht möglich), erscheinen dem Verfasser die Sprödeheit (Bruchgefahr) des Seilmaterials und die durch die Beweglichkeit nicht hinreichend genaue Vorausbemimmung der Belastungen der einzelnen Stahlseile Nachteile zu sein, die eine Verwendung für größere Bauten einschränken, oder aber zu sehr erheblichen Dimensionen (DUJSENOV) führen. Für provisorische Bauten, insbesondere im Katastropheneinsatz, dürfte die Anwendung jedoch ebenso erfolgreich sein, wie die kleinen Balkenwerke GRAC's. Entgegen den Belastungsannahmen MONNET's wird man aber wohl mindestens den vollen Erddruck in Rechnung stellen müssen, worauf auch schon PONCET (1966) hingewiesen hat.

1.6 Weitgehend offene, abgestützte Gitterwerke

Bei größeren Öffnungen in einer Sperre, also bei größeren Spannweiten des Balkenrostes, sind entweder Zwischenpfeiler erforderlich (Pfeilerreihensperren), oder aber der Balkenrost ist mehr oder weniger selbsttragend in der Bachrichtung abgestützt, sodaß der Rost aus eigentlichen Pfeilern mit Streben oder Stützen und den zwischen ihnen angeordneten Balken besteht. Darüber hinaus kann eine solche Rost-Konstruktion auch in größeren Feldern einer Pfeilerreihensperre eingebaut sein. Einige bisher ausgeführte Lösungen sind die folgenden:

Neben den bereits besprochenen Filtrierwerken GENET's, GRAC's und MONNET's wurde in Frankreich noch eine weitere Type aus Stahlbetonfertigteilen entwickelt und nach CLAVE (1967) seit 1955 vorwiegend in feinkörnigen fluvioglazialen Ablagerungen verwendet. CLAVE geht davon aus, daß durch das Zurückhalten vor allem der gröberen Geschiebe-

Ansicht



Schnitt ee

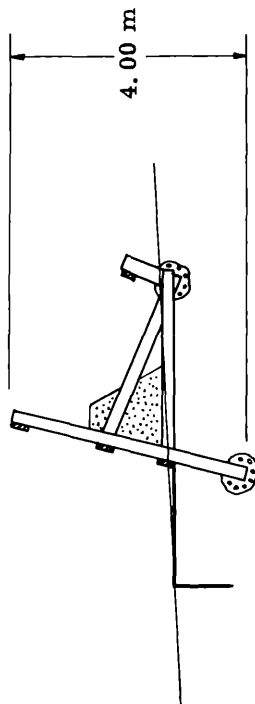


Abb. 11: Weitgehend offene Wildbachsperre mit bergseits abgestütztem Rost aus Stahlbetonfertigteilen in schematisierter Darstellung mit Ansicht und Schnitt. Die Fundierung erfolgt in einfachster Ausführung ohne besondere Schalung. Die seitlichen Sperrenflügel sind als Winkelstützmauern ausgebildet. Diese Gitterrostsperre mit doppelter Pfostenreihe wurde erstmalig im Jahre 1955 in den "Ruines de Pellafole" im Drac-Gebiet, Frankreich, ausgeführt (CLAVE 1967)

körner ein steileres Verlandungsgefälle erreicht wird und sich dies in einer Verringerung der erforderlichen Sperrenzahl in einer Staffelung auswirken muß. Allerdings sind nach CLAVE die Filtereigenschaften dieser Werke noch nicht vollkommen: Denn mit den groben Partikeln werden auch feinere und mittlere Korngruppen zurückgehalten; andererseits dauert die Verlandung oftmals zu lange, wenn auch eine konsolidierende Wirkung erreicht werden soll, sodaß dann eine künstliche bergseitige Materialablagerung den Verlandungsvorgang beschleunigen muß. Trotz dieser Nachteile haben sich aber nach CLAVE die Filtersperren wirksamer erwiesen als voll gemauerte Sperren, sodaß man sie unter vergleichbaren Verhältnissen mit Erfolg verwendet.

Die Konstruktion der "Gittersperren mit vorfabrizierten Stahlbeton-elementen" besteht aus einer doppelten Pilotenreihe, die durch Quer- und Längsbalken miteinander verbunden sind. Die talseitige Pilotenreihe ist etwa 3 bis 4 m hoch und stellt mit ihren horizontal angeordneten Querverbindungsbalken das eigentliche Gitter, oder den "Filter" (Sieb) dar, mit einer Maschenweite von etwa 1 x 1 m. Die vorderen Piloten werden durch je zwei Längsbalken, die an Ort und Stelle hergestellt werden, mit den nur 1 m hohen bergseitigen Piloten, dreieckförmig in der Art von Zugstreben, fest miteinander verbunden. Die einzelnen Piloten sind in Betonsockeln eingelassen, während das gesamte Werk durch eine Stahlschürze vor Unterkolkung und die Ufer durch voll betonierte Flügel (Winkelstützmauern) vor Umgehung und Unterspülung geschützt sind. Die Größe der Einzelteile ist auf eine handliche Montage abgestimmt, weitere Vorteile haben sich durch Einsparungen bei der Fundierung, Lieferung und schnellen Montage ergeben. Das bisherige Anwendungsgebiet brachte keine Erfahrungen mit Murgängen und sehr grobem Geschiebe. In besonderen Fällen wurden die Werke vor Stoßbeanspruchungen durch bergseitige Verlandungen geschützt. Bei einer Verwendung von Stahlbetonfertigteilen in Grobgeschiebe führenden Bächen und bei häufigem Frostwechsel dürfte demnach größere Vorsicht geboten sein, doch ist die Konstruktion an sich natürlich auch mit einem anderen Material möglich.

Tatsächlich wurde eine sehr ähnliche Konstruktion, allerdings in Stahl und in bedeutend größeren Dimensionen im Transilischen Alatau in der Kasachischen SSR seit 1964 mehrfach als Muren-Auffänger ausgeführt. Nach DUJSENOV (1966) besteht die Konstruktion, die auf die örtlichen Verhältnisse und die rasche Montage mit Hilfe von Montagekränen abgestimmt ist, aus dreieckigen Rahmen als vertikale Pfeiler und den horizontalen Balken: Die Dreieckspfeiler mit Zwischen-Abständen von 3,5 m (4,5 m) tragen an den talseits geneigt stehenden Trägern die horizontalen Balken, wodurch das Gitter (mit Maschenweite etwa 3 x 1 m) zustandekommt. Die am Boden in Bachrichtung verlaufenden Träger der Dreiecksrahmen sind durch ein Schienengitter miteinander verbunden

und mit einer Gesteinsschicht bis zu 1,75 m beschwert. Außerdem ist noch jeder Dreiecks-Rahmen-Träger mit 2 Trossen von etwa 50 mm $\emptyset$ bergwärts verankert. Die Maximalhöhe des Werkes beträgt 10 m, die größte Länge eines Montageelementes 12 m. Für die normale Wasserführung sind 2 Stahlröhren von je 1,2 m $\emptyset$ vorgesehen, während Hochwässer bis zu 10 und 20 m³/sec. durch zusätzliche 3,5 m breite Stahlrinnen durch die untersten Gitteröffnungen und noch größere Hochwässer durch das übrige Werk abfließen sollen. Ufer und Bachsohle sind betoniert, ebenso die Verankerung für die Stahlseile.

Wie bei allen Filter-, Sieb- oder Gitterwerken erwartet man auch von dieser Querwerkstype, daß sie vor allem die groben Geschiebe-Fractionen zurückhält und die Hochwässer bis zu einem gewissen Grade klärt. Die annähernd in der Art eines gleichseitigen Dreiecks ausgebildeten Rahmen und die damit verbundene Neigung des talseitigen (mit den horizontalen Balken gebildeten) Gitters erzeugen, wie bei dem oben besprochenen Filterwerk nach GENET, nach Verlandung des gesamten Bauwerkes eine geneigte, bzw. gestufte Abflußrinne. Das Verlandungsmaterial im Innern des Bauwerks wird zur Erhöhung der Standfestigkeit führen. Man erwartet sich einen bedeutend längeren Verlandungszeitraum im Vergleich zu den vollen Sperrentypen und außerdem ein wesentlich steileres Verlandungsgefälle.

Eine andere russische Bautype mit vorfabrizierten Stahlbeton-Elementen erlaubt mit wenigen Standardbalken sehr verschiedene Konstruktionen im Dreiecksverband. Nach DUJSENOV (1966) sind im Kaukasus die zu Dreiecken zusammengefügt Elemente im Baukastensystem aufrecht stehend pyramidenartig, hoch übereinander aufgerichtet, nach GAVRILOVIC (1967) auch als liegende Dreieckskombinationen zu 9 m hohen Sprengwerksklausen (Projekt von HERHEULIDZE am Cablaris-Ckoli-Fluß, UdSSR) u. ä. zusammengefügt worden. Schließlich ist noch eine Pfeilerreihensperre mit einem zusätzlich über Zugstreben verankerten Balkenrost der kasachstanischen NIGMI zu erwähnen (GAVRILOVIC 1968). Die Hauptpfeiler dieser Bautype sind massiv erstellt. Die zwischen den Pfeilern in einer vertikalen Ebene übereinander horizontal angeordneten Balken sind durch Streben aufeinander abgestützt, um die lotrechten Kräfte (Auflasten, Eigengewicht) zu übertragen, während die in kurzen Abständen angeordneten Zugstreben (-Seile) und deren Fundamente die horizontalen Kräfte (Wasserdruck, Verlandungsmaterial) aufnehmen. Durch die Abstreben zwischen den horizontalen Hauptbalken verringern sich die lichten Weiten der verbleibenden Öffnungen auf etwa 0,5 – 1,0 m. Wenn auch die Angaben über die beiden letztgenannten Bautypen spärlicher sind, vervollständigen sie doch den Überblick über schon bestehende Lösungen.

Auch in Österreich sind bereits Gittersperren mit abgestütztem Balkenrost vorgeschlagen worden. Und zwar entweder als Pfeiler-Reihensperre mit Massivpfeilern oder mit bergseitiger Verankerung des Bal-

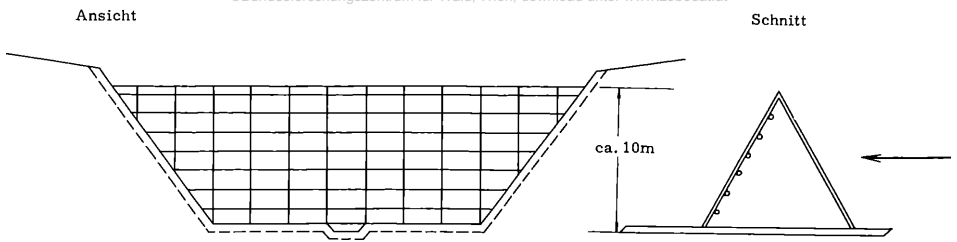


Abb. 12: Murenauffänger (DUJSENOV 1966) in schematisierter, vereinfachter Darstellung. Der offene in Bachrichtung abgestützte Rost erstreckt sich über das gesamte Querprofil, die seitlichen Einhänge und die Bachsohle sind abgeplastert

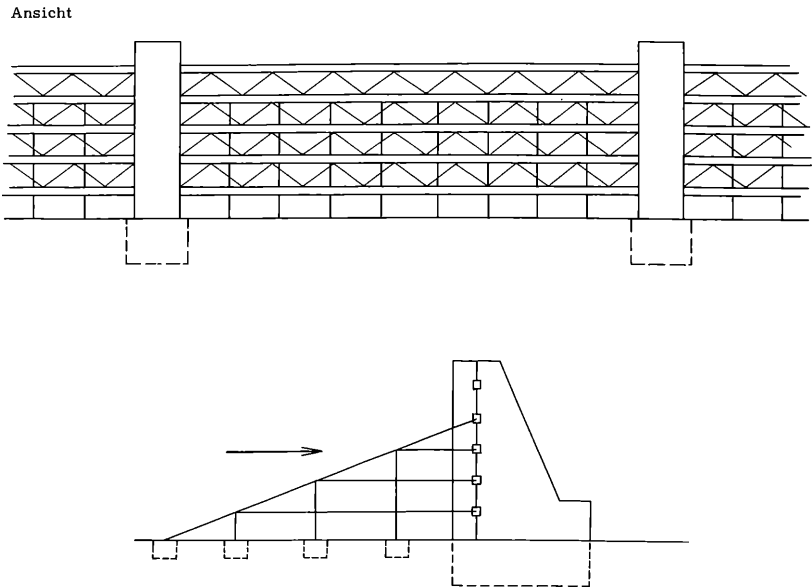


Abb. 13: Murenauffänger als Pfeilerreihensperre mit einem zusätzlich über Zugstreben verankerten Balkenrost der Kasakstanischen Hydroprojektteilung NIGMI (GAVRILOVIC 1968) in schematisierter, vereinfachter Darstellung

kenrostes über Zugstangen in eigene, schwere bergseitige Fundamente (HAMPEL 1968). Tatsächlich sind aber im Zillertal mehrere Balkensperren mit talseitig über Druckstreben abgestütztem Balkenrost ausgeführt worden, mit entsprechenden zusätzlichen Fundamenten für die Druckübertragung im talwärtigen Bachbett. Da infolge der größeren Maueröffnungen der Balkenrost mehrteilig ist und die Balken auf den talseits abgestützten Zwischenpfeilern aus Stahl aufliegen, könnte man auch von einem Pfeiler-Reihen-Balkenrost sprechen. Die massiven Sperrenflügel sind meist nicht geradlinig in der Sperrenachse, sondern bachaufwärts trichterförmig erweiternd als Einfangwerke ausgebildet. Die einzelnen Balken sind abnehmbar, um gegebenenfalls eine Räumung mit Großgeräten zu ermöglichen. HAMPEL empfiehlt als Balkenzwischenabstand 80 % der Größe des im Profil zurückzuhaltenden Größtkornes. Eine weitergehende Aussiebung soll man durch ganze Serien von Gittersperren mit allmählich immer enger werdenden Balkenabständen erreichen. Bei gewünschter selbsttätiger Entleerung von Gittersperren muß allerdings die Gitterweite größer als das Größtkorn sein, doch werden solche Sperren nur mit konzentriertem, murenähnlichem Geschiebe verlandend.

Alle bisher besprochenen Gittersperren mit talseits abgestütztem oder bergseitig verankertem Balkenrost sind zufolge der einachsigen Lastabtragung in einer Ebene auf den Untergrund in beliebiger Profilsbreite ausführbar. Sie erfordern aber nicht unerhebliche zusätzliche Aufwendungen für die Fundierungen der Druck- oder Zugstreben. Auch ist die Konstruktion bei einachsiger Lastabtragung relativ schwer. Es wurde daher, gestützt auf die Erfahrungen mit Gewichtsplattensperren und Stahlrohrgerüsten, versucht, auch bei Gittersperren durch eine räumliche Lastabtragung, mit Übertragung der Last auf den Untergrund und die seitlichen Uferhänge, eine rationellere Lösung zu finden. Die bei dieser Lösung beschränkte Spannweite ist in den engen Wildbachgräben meistens gegeben, doch wird darüber hinaus auch eine Übergangslösung für größere Spannweiten angestrebt. Diese Lösung sei im folgenden Abschnitt näher beschrieben.

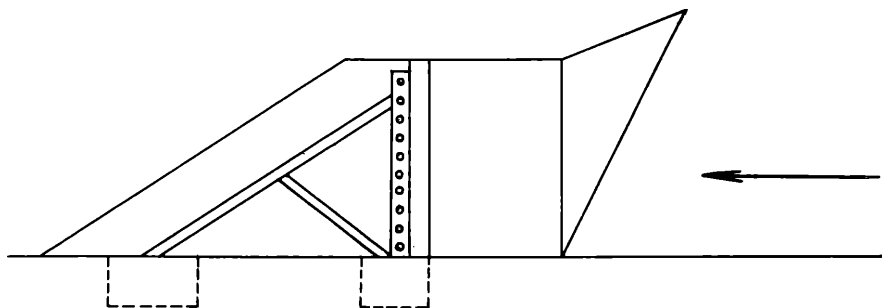


Abb. 14: Balkensperre mit talseitig abgestütztem Rost im Riedbach im Zillertal

2. GITTERROSTSPERREN MIT RÄUMLICHER LASTABTRAGUNG

Während die bisher geschilderte Entwicklung hauptsächlich von der Entleerungs- und Dosierungsfunktion ausging, waren für die Entwicklung der gegenständlichen Gitterrostsperrre die Erfahrungen bei den vergangenen Hochwasser- und Murenkatastrophen maßgebend. Erst in zweiter Linie bestand die Absicht, mit diesem Bauwerk auch ein "Aus-sieben" bestimmter Korngrößen zu verbinden. Denn wie aus den Erfahrungen der Stauraumverlandung auch von Entleerungs- und Sieb-sperren hervorgeht, ist die Möglichkeit des Aussiebens bestimmter Sortimente beschränkt, weil vom Zeitpunkt des Rückhaltes größerer Ge-schiebestücke auch "die ganze Tonleiter der kleineren, wandernden Ge-schiebestücke" (MONNET 1966, CLAVE 1967) aufgehalten wird. Die Analyse der Katastrophenursachen zeigt aber auch, daß ein großer Pro-zentsatz der Hochwasserschäden auf Verklausungen zurückgeht, sodaß nicht nur Maßnahmen gegen unerwünschte Erosion und Sedimentation, sondern auch eigene, vorbeugende Maßnahmen gegen Verklausungen notwendig erscheinen. (So auch HOFFMANN 1969, Seite 45: "Das oberste Ziel der Wildbachverbauung müßte es sein, Verklausungen zu verhin-dern"). Da Verklausungen hauptsächlich durch Wildholz und große Ge-steinsblöcke verursacht werden, sollte zunächst eine neben konventio-nellen Typen zusätzliche Sperrentype als Wildholz- und Grobgeschiebe-fänger geschaffen werden, die durch rasche Um- oder Ausgestaltung sowohl als Murenfänger als auch als Entleerungssperre möglichst uni-versal verwendet werden kann.

Die Funktion eines Bauwerkes als Wildholz- und Geschiebefänger ver-langt ein weitmaschiges Gitter. Denn, wenn ungewollte Verklausungen (z. B. im Siedlungsgebiet) durch provozierte, sozusagen vorweggenom-mene Verklausungen an ungefährlichen Stellen, verhindert werden sollen, darf das Werk auch erst wirklich im Bedarfsfall, also bei Auftreten von den die Verklausungen verursachenden Wildhölzern und Grobgeschieben in Funktion treten und nicht schon vorher verlandet sein. Die Öffnungen sind für diese Funktion also möglichst groß anzusetzen und eventuell auch den örtlichen Verhältnissen anzupassen. Es wird auch nach den örtlichen Verhältnissen abzuschätzen sein, ob mit einem oder mehreren Gitter-Werken das Auslangen gefunden werden kann.

Die Entleerungsfunktion verlangt eine auf die größte maßgebliche Ge-schiebekorngröße and auf das Vorhandensein von Treibzeug und Schwemm-sel abgestimmte Gitterweite (Balkenabstand). Nach den bisherigen Er-fahrungen, die vor allem im Ausland bereits über mehr als ein Jahr-zehnt zurückliegen, wird man keine allzu große "Dosierwirkung" er-warten, wohl aber eine bessere Entleerung als bisher. Das Lösen und Entfernen der durch das Gitter provozierten Verklausung ist leichter

und schneller möglich als bei einer vollen Sperre. Es wird dadurch eine öftere Verwendung und eine größere Wirtschaftlichkeit erreicht.

Als Baumaterial für Sieb- oder Gitterwerke bietet sich der Stahl wegen seiner günstigen Materialeigenschaften an, nachdem sich Stahlbetonelemente in der Wildbachverbauung als sehr bruchanfällig erwiesen haben. Abgesehen von der großen Druck- und Zugfestigkeit, ergibt die Verformbarkeit und im besonderen Falle auch die Belastungsmöglichkeit im Bereich der Fließgrenze eine erhebliche Sicherheitsreserve, welche gerade in Wildbächen mit ihren wechselhaften dynamischen Kräften und oft großen zusätzlichen Belastungen (z. B. Bergdruck) von großer Bedeutung ist. Überdies kann durch eine Verwendung rostträger Stähle (z. B. Caralpin) der nachteilige Einfluß des Rostens ebenso aufgehoben werden wie durch eine entsprechende Verstärkung der Querschnitte. Schließlich gestatten die hohen Festigkeitseigenschaften des Stahls die geringste Verschwächung der gesamten Durchströmquerschnitte. Nicht zuletzt ermöglicht die Verwendung des Stahls eine Vorfertigung im Sinne einer Fertigteilbauweise nach einem Baukastensystem und somit auch eine Montage im Katastropheneinsatz durch ungeschulte Arbeitskräfte (Pioniereinsatz).

Nach diesen geschilderten Aspekten sollte von der konstruktiven Seite her ein möglichst offenes, zerlegbares Gitterwerk gefunden werden, dessen Öffnungen durch zusätzliche Zwischenstäbe je nach speziellen Erfordernissen beliebig verengt werden können. Erste Hinweise lieferten prov. Baugerüste (Stahlrohrgerüste) die in Höhe der künftigen Sperrenkronen für die Betonbeschickung und Schalung aufgeführt wurden und bei geschiebeführenden Hochwässern mehr oder weniger verlandeten. Außerdem konnte auf die bereits über mehr als 80-jährige Erfahrung beim Bau von Wildbachsperrn zurückgegriffen werden, insbesondere auf den vom Verfasser in mehrfachen Untersuchungen (KRONFELLNER-KRAUS 1962, 1966, 1967) erbrachten Nachweis der räumlichen Kraftwirkungen auch in geraden Wildbachsperrn. Im Gegensatz zu den unter Punkt 1) beschriebenen Gitterwerken mit einachsiger Lastabtragung sollte wie bei den Gewichtsplattensperrn eine Lastabtragung in zwei Richtungen, in den Untergrund und in die seitlichen Hänge, erfolgen. Dabei kann die bisher rohe, empirische Lastaufteilung (HAIDEN 1935) für ein statisch starres Trägerrostsystem heute bereits mit relativ einfachen, allgemein gehaltenen, elektronischen Programmen durch genaue elastostatische Rechenmethoden ersetzt werden. Dies erlaubt eine weitgehende Anpassung der Konstruktion an die jeweiligen tatsächlichen Profilverhältnisse und Lagerungsbedingungen und bringt gegenüber den bisher bekannten Methoden erhebliche Einsparungen. Es erschien zweckmäßig, das tatsächliche mit dem im statischen System angenommenen Tragverhalten durch eine Messung der Auflagerkräfte und Verformungen zu vergleichen, um in Hinkunft durch entsprechende Anpassungen und Korrekturen eine noch bessere Übereinstimmung zwischen Annahme und Wirklichkeit zu erzielen.

Im allgemeinen kann man annehmen, daß die bei Gitterwerken auftretenden Belastungen wesentlich kleiner sind als bei konventionellen, mehr oder weniger vollen Wildbachsperrren. Denn das Wasser kann erst mit der Verstopfung und Verlandung des Gitters allmählich aufsteigen und wird erst an allen offen gebliebenen Stellen sofort abrinnen. Das Werk wird also im allgemeinen nur partiell vom Wasser, sonst aber vom Verlandungsmaterial belastet sein. Immerhin ist aber auch bei diesen Werken eine Verklausung nur mit Wildholz auf die volle Höhe denkbar und somit auch ein Wasserdruck ausnahmsweise auf die volle Höhe möglich. Da auch die Bestimmung des Werkes, zum Gegensatz von Konsolidierungs- und rasch verlandenden Geschiebestausperren, in der immer wieder zu erfolgenden Entleerung und Neuankündigung liegt und somit auch die dynamischen Kräfte praktisch auf Dauer voll auftreten können, wurde der Dimensionierung der volle Wasserdruck auf die gesamte Höhe (einschließlich Überflutungshöhe) zugrunde gelegt. Tatsächlich wird aber die Art der im offenen System erfolgenden allmählichen Verlandung eine weit geringere Belastung hervorrufen, was sich in einer gesteigerten Sicherheit und Reserve gegenüber dynamischen Beanspruchungen auswirkt.

2 1 Konstruktionsbeschreibung

In enger Zusammenarbeit mit dem Konstruktionsbüro der Herstellerfirma, der Österreichisch Alpine-Montangesellschaft, Werk Zeltweg, wurde nach mehreren Vorentwürfen schließlich die folgende, näher beschriebene Lösung gefunden.

Die Sperre besteht nur aus dem im Boden und in den seitlichen Einbindungen verankerten Gitter bzw. nur aus dem statisch wirkenden Trägerrost. Die horizontalen und vertikalen Roststäbe dieses Sperrengitters sind in Strömungsrichtung fachwerkmäßig ausgebildet. Die Fachwerksausbildung beeinträchtigt daher nicht die freien Durchströmquerschnitte. Die Fachwerke selbst bestehen aus Stahlprofilen, wobei prinzipiell die Länge der Einzelstücke nicht größer sein muß, als die Länge der einzelnen freien Felder. Die einzelnen Fachwerksstäbe sind an den Knotenpunkten mit Knotenblechen und Schrauben fest miteinander verbunden. Auf diese Weise ist die Sperre in praktisch beliebig kleine Teile (bis herunter zu 2,5 m) zerlegbar und auch in schwierigstem Gelände montierbar. Dadurch, daß auch die horizontalen Roststäbe als Fachwerk ausgebildet sind, können große Spannweiten überbrückt werden.

Die Verankerung der einzelnen Roststäbe kann in jedem Material, in Verwitterungsschutt, Bachgerölle, oder auch in Fels erfolgen. Bei Einbindung und Fundierung in lockerem Material werden die Seitenfelder und auch der Sperrenfuß zweckmäßig mit Verzugsblechen abgedichtet,



Abb. 15: Erosion und Wildholzanfall im Oberlauf des Kirchbachgrabens im Gailtal, Kärnten
Aufn. Dipl. Ing. Noisternig

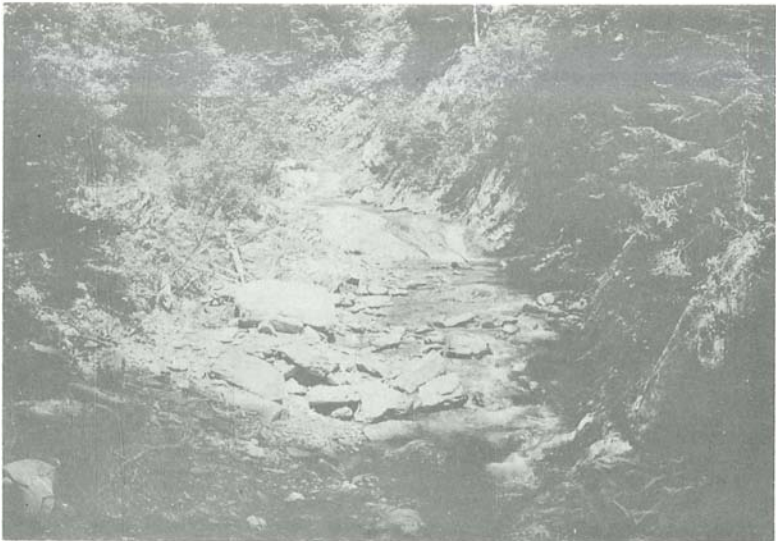


Abb. 16: Sperrenstelle im Kirchbachgraben vor dem Baubeginn bachaufwärts gesehen
Aufn. Dipl. Ing. Noisternig

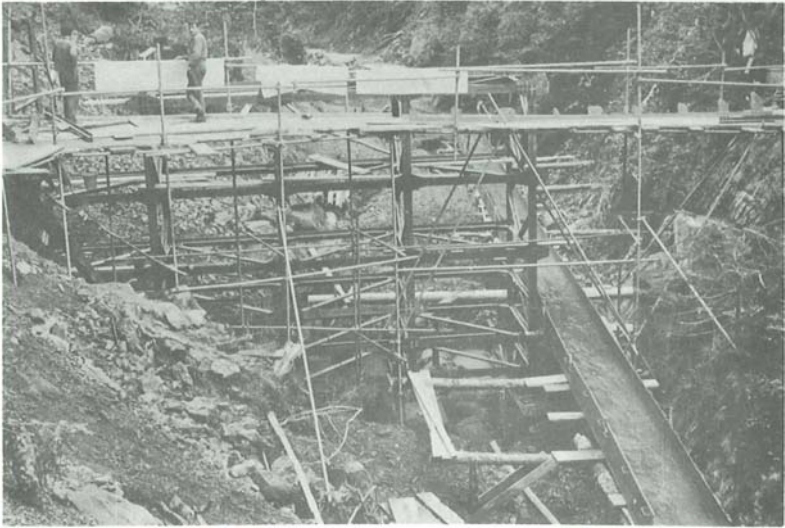


Abb. 17: Gitterrostsperre im Kirchbachgraben während des Baues im Frühjahr 1968
Aufn. Dipl.Ing. Noisternig

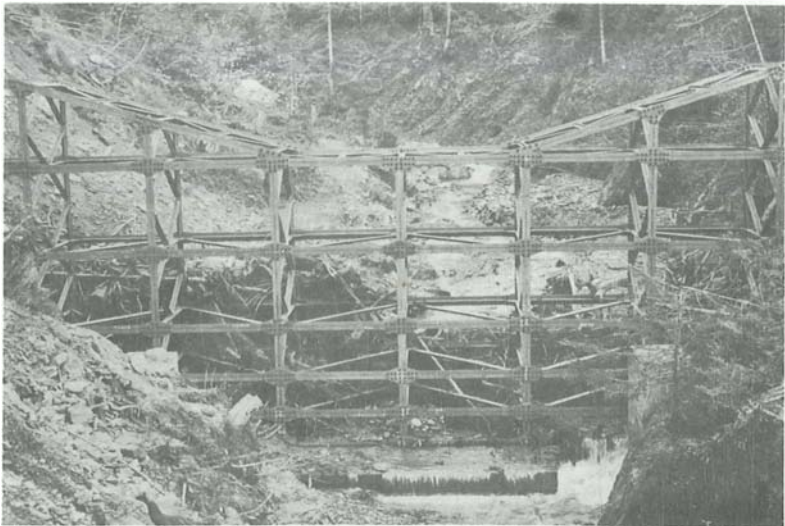


Abb. 18: Fertiggestellte Gitterrostsperre nach einem Hochwasser mit aufgefangenem Wildholz und dadurch erfolgter Geschiebeanlandung

um ein Auswaschen der seitlichen Hänge oder eine Unterspülung des Werkes zu verhindern. Bei Vorhandensein von Fels genügt lediglich eine Verankerung ohne besondere Abdichtung. Die Verankerung der Sperre unter Vermittlung der horizontalen Roststäbe bringt große wirtschaftliche Vorteile mit sich, da ein Kippen der Sperre unmöglich gemacht wird. In der Sohle ist die Sperre derart verankert, daß die vertikalen Roststäbe bildenden Fachwerke am unteren Ende auf die doppelte Fachwerkstiefe bachaufwärts verbreitert sind. Dieses verbreiterte Fußende der vertikalen Roststäbe wird durch einen Steinwurf beschwert, wobei es entweder eingegraben oder auch dem Material nur aufgesetzt sein kann. Im letzteren Fall wird man das Werk durch eine talseitige Stahlschürze vor Unterkolkung sichern müssen, wobei man den Aushub auf den Bereich der Schürze beschränken wird.

Die Abstände der horizontalen Roststäbe voneinander sind im unteren Bereich kleiner als im oberen Bereich, und zwar verkehrt proportional der nach unten anwachsenden Belastung. Damit wird im vollkommen offenen Zustand erreicht, daß das Werk im unteren Teil auf die Geschiebeführung schneller anspricht, sich dadurch die Stabilität des Werkes durch die erste Geschiebeauflage erhöht, während der obere Teil für die Auffangfunktion von Wildholz und Grobgeschiebe als Katastrophenreserve länger freibleibt. Die vertikalen Roststäbe sind in gleichen Abständen von einander angeordnet (2,5 m). Diese Roststab-anordnung dient außerdem einer gleichartigen Ausbildung der einzelnen Fachwerke in allen Höhenlagen, was die Zahl der notwendigen Standardelemente nach einem Baukastensystem auf ein Minimum vermindern hilft. Die Aussteifung der horizontalen und vertikalen Fachwerksstäbe ist an den Quer- und Längsholmen jeweils mittig angesetzt, sodaß trotz der Diagonalstreben die Fachwerksfelder groß genug bleiben um ein Hängenbleiben von Treibzeug innerhalb der Konstruktion tunlichst einzuschränken.

Trotzdem das Werk vollkommen durchlässig sein soll, wurde doch nicht auf die Ausbildung einer sogenannten Abflußsektion, das ist das verbleibende freie Abflußprofil ober der Sperrenkrone über ein vollkommen verlegtes und verlandetes Werk, verzichtet. Insbesondere bei einer Fundierung in Lockermassen wird eine Konzentrierung der abfließenden Wässer auf ein bestimmtes Bachbett notwendig sein, während eine solche Kronen- und Flügelausbildung in einem vollkommen felsigen Profil eventuell auch entfallen könnte.

Die in Zusammenarbeit mit der Forsttechnischen Abteilung für Wildbach- und Lawinverbauung, und zwar den Sektionen Salzburg und Villach, getroffene Auswahl der Einsatzorte gestatteten, die Verankerung sowohl in Fels als auch in Lockermassen praktisch zu erproben. Dabei ergaben sich noch folgende örtliche Besonderheiten:



Abb. 19: Gitterrostsperr im Dürnbach bei Neukirchen im Oberpinzgau. Der durch beidseitigen Talzuschub hervorgerufene Seitendruck zeigt sich an den geborstenen Balken im Flügel der Stahlbeton-Fertigteilsperre (im Vordergrund rechts im Bild)



Abb. 20: Seitenansicht der Gitterrostsperr im Dürnbach

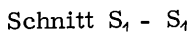


Abb. 21: Gitterrostsperr im Kirchbachgraben mit Meßanlage

Ansicht

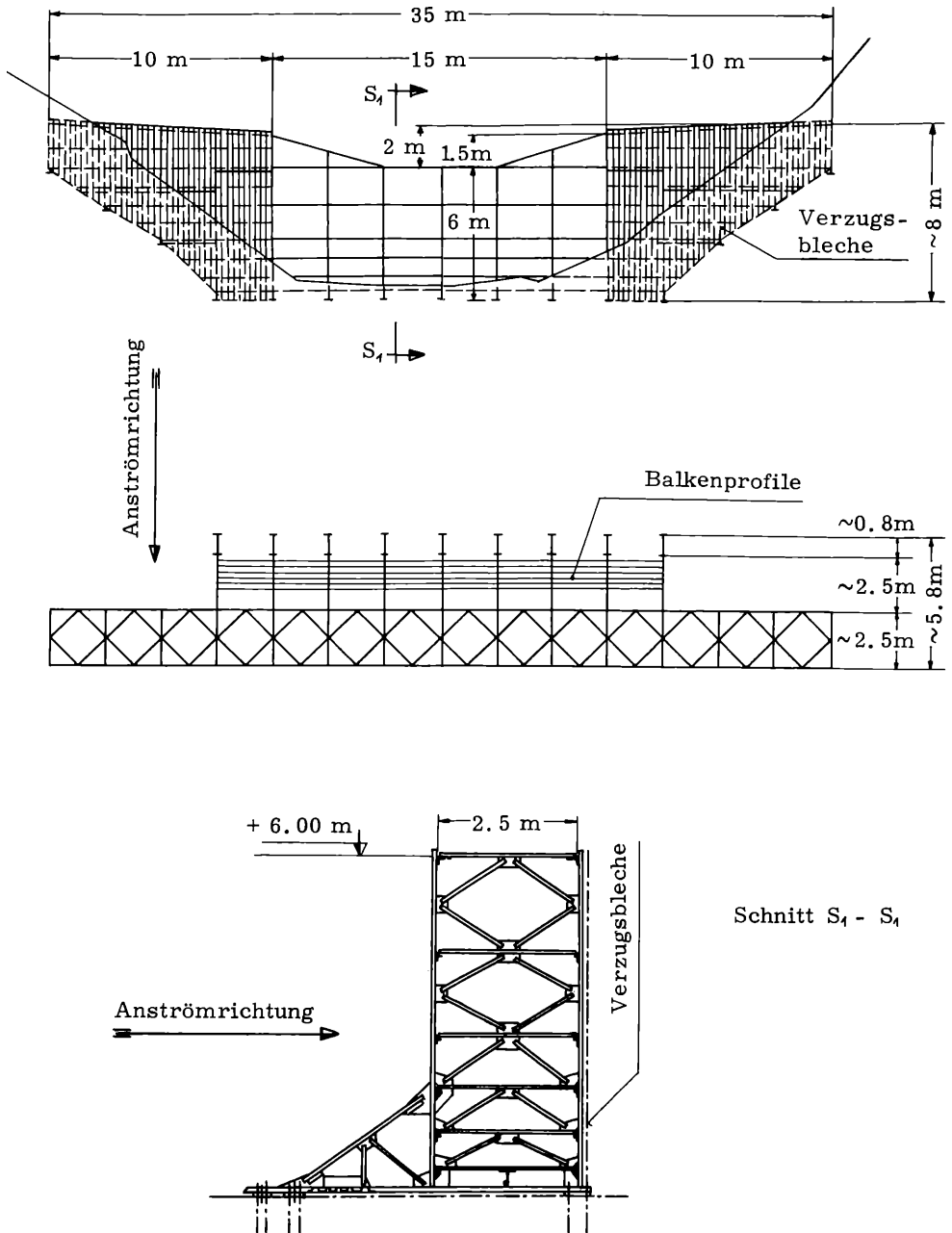


Abb. 22: Konstruktion der Gitterrostsperr im Dürnbach

a) Die Gitterrostsperre im Kirchbachgraben, einem Wildbach mit einem 17,5 km² großen Einzugsgebiet am Südadhang der Gailtaler Alpen mit vorwiegend stark geschiebeführenden Hochwässern und großen Wildholzbeimengungen, fügt sich als Ergänzung sinnvoll in die gesamte schon bestehende Verbauungsanlage ein. Das Sperrenprofil ist aus Fels gebildet und relativ eng. Die sichere und leicht beherrschbare Fundation erlaubte die Montage einer zusätzlichen Meßanlage, um die Lastabtragung und die tatsächlich auftretenden Auflagerreaktionen messen zu können (siehe Versuchsdurchführung, Pkt. 3).

b) Die Gitterrostsperre im Dürnbach, einem 8,5 km² großen, gefürchteten Wildbach im Oberpinzgau, wurde im Zuge der projektmäßigen Verbauung in einer schon bestehenden Staffelung als Ersatz einer alten, verrotteten Steinkastensperre eingebaut. Die Verbauung des Dürnbaches gestaltet sich in diesem Bereich deshalb besonders schwierig, weil hier beide Uferhänge in Bewegung sind und den Graben verengen. Der durch den beiderseitigen Talzuschub hervorgerufene Bergdruck hat bisher errichtete Querwerke in Mauerwerk, Beton, sowie auch Steinkastebauten aus Holz und Stahlbetonelementen schwer beschädigt oder gar zerstört. Um diesen nachteiligen Erscheinungen zu begegnen, wurde in diesem besonders labilen Bereich des Dürnbaches versuchsweise ein Querwerk aus verformbarem Material, die Gitterrostsperre eingebaut. Da im Dürnbach sowohl Hochwässer als auch Muren mit großen Geschiebe- und Wildholzmengen auftreten, kann hier die Bautype unter extremsten Bedingungen in mehrfacher Weise (Verformbarkeit unter Seitendruck, Hochwasser und Murenbeanspruchung) unter natürlichen Bedingungen getestet werden. Das Querprofil der Sperre wird rechtsufrig von Lockermassen, linksufrig aus zerrüttetem Fels gebildet. Dementsprechend sind die Seitenflügel mit Verzugsblechen abgedichtet. Im Boden ist das neue Werk auf dem Fundament der alten Steinkastensperre aufgesetzt und mit dieser durch Ankerbolzen fest verbunden, wodurch ein besonderer Kolkenschutz entfallen konnte.

Im einzelnen sind die Konstruktionen aus den von der ÖAMG freundlicherweise zur Verfügung gestellten Zeichnungen (Abb. 21, 22 und 23) genau zu ersehen.

2.2 Bisherige Erfahrungen

Die im Laufe des Winters 1966/67 planlich durchgearbeiteten Werke wurden im Herbst des Jahres 1967 (Kirchbachgraben), bzw. Frühjahr 1968 (Dürnbach) ausgeliefert und kamen im Laufe des Jahres 1968 zur Montage. Die Konstruktion unterschied sich bei beiden Werken geringfügig in der Größe und Länge der Einzelstücke, um entsprechende Erfahrungen zu sammeln. Die Baustelle im Kirchbachgraben konnte mit Unimog, die Baustelle im Dürnbach erst über zwei Seilbahnen mit dem

Baumaterial beschickt werden. Bei der Montage war ein Monteur der ÖAMG gegenwärtig. Wie bereits erwähnt, wurde bei der Sperre im Kirchbachgraben zusätzlich noch eine Meßanlage in Betonfundamenten eingebaut, das Werk nach Fertigstellung mit einer hölzernen Stauwand versehen und mehreren Belastungsproben ausgesetzt. Während der Zeit, in der die hölzerne Stauwand das Werk abschloß, traten auch noch zwei Hochwässer auf, so daß ein unkontrollierter Vollstau (bis 40 cm über Krone) zustande kam. In der Folgezeit führten beide Bäche ein- und mehrjährige geschiebeführende Hochwässer, so daß auch bezüglich der Entleerung bereits erste Erfahrungen anfielen. Die Zusammenarbeit mit der Wildbachverbauung war überaus ersprießlich und es können für die folgende Diskussion auch die mitgeteilten Erfahrungen der zuständigen Gebietsbauleiter, Herrn Oberforstrat Dipl. Ing. F. HOFMANN, in Zell am See, und Herrn Forstrat Dipl. Ing. H. NOISTERNIG, in Villach, mit verarbeitet werden, wofür ihnen an dieser Stelle herzlich gedankt wird.

Die Montage war im Falle Kirchbachgraben sowohl wegen der Transportverhältnisse (Zufahrtsweg) als auch wegen der kleineren Montageelemente etwas leichter als im Dürnbach. Wie OFR. Dipl. Ing. HOFMANN berichtete, mußten dort die Konstruktionsteile zunächst vom Bahnhof Neukirchen zur Seilbahn-Talstation mit LKW transportiert werden. Der Weitertransport zur Baustelle erfolgte mit der zweispurigen Dürnbach-Seilbahn, nach einer weiteren Umladung mit einer ca. 200 m langen Stichseilbahn. Der Zeitaufwand für den Transport der insgesamt über 40 to schweren Konstruktion in Einzelteilen betrug 510 Stunden. Für die Montage der Sperre (ohne Aushub und Nebenarbeiten) waren 858 Arbeitsstunden von ungeübten Wildbacharbeitern und 257 Firmenmonteurstunden erforderlich. Wie HOFMANN bemerkte, war von diesen angeführten Arbeitsstunden ein nicht unbeträchtlicher Teil für die Sortierung der Vielzahl an verschiedenen Einzelteilen notwendig, die auch für den im Werk an der Fertigung beteiligten Monteur nicht leicht war. Es sollte also nach seiner Meinung noch eine Reduzierung der voneinander unterschiedlichen Einzelteile auf weniger Grundtypen erfolgen. Da bei gleichen Teilen nochmals eine Unterscheidung in linke und rechte vorhanden ist, wäre eine farbliche Unterscheidung bei der Typenbezeichnung anzustreben (z. B. rechte Teile rote Aufschrift, linke Teile weiße Aufschrift). Für die Montage selbst hat sich ein einfacher, über die Längsachse der Baugrube gespannter Kabelkran sehr gut bewährt, da dadurch die Aufstellung der Rahmen wesentlich erleichtert wurde. Wegen der geringen Stahlbautoleranzen war ein genaues Arbeiten und öfteres Nachrichten erforderlich. Für die Schraubarbeiten ist ein pneumatischer Schlagschrauber, den das Lieferwerk zur Verfügung stellt, unbedingt zu empfehlen (F. HOFMANN: Mitteilung vom 15.1.1970).

Insgesamt fällt das geringere Transportvolumen der Gitterrostsperrn positiv ins Gewicht: es betrug im Kirchbachgraben 21,6 Tonnen Stahl

gegenüber rund 480 550 Tonnen Beton. od. Mauerwerk, im Dürnbach 48 Tonnen gegenüber 1.100 bis 1.600 Tonnen bei konventioneller Bauart in Mauerwerk oder Beton (je nachdem, welche Bautype man für die Vollsperre gewählt hätte: Gewichtsplattensperre oder reine Gewichtssperre). Der höhere Tonnagepreis des Stahles (hier etwa 8.000S/to) konnte durch den geringeren Transport- und Arbeitsaufwand für die Montage nicht völlig ausgeglichen werden (s. Abschn. 42). Mit dem normalen Stahlpreis muß man annehmen, daß im Wiederholungsfalle und bei Berücksichtigung der erwähnten, leicht möglichen Verbesserungen (Standardisierung der Einzelelemente) die Gesamtkosten für die Errichtung der besprochenen Gitterrostsperrren etwa um 60 % höher sein werden als für vergleichbare konventionelle Bauten.

Abgesehen von den während der Meßperiode stattgefundenen 2 Hochwässern, wurde die Gitterrostsperre im Kirchbachgraben in der Folge nochmals von einem größeren, stark Geschiebe- und Wildholz führenden Hochwasser beansprucht. Das Werk wurde mit grobem Wildholz (siehe Abbildung) bis auf die halbe Höhe verlegt und es sammelte sich dahinter Feingeschiebe an. Das anschließende Mittelwasser grub sich wieder durch und transportierte einen großen Teil des abgelagerten Materials ohne Hilfe wieder ab. Es wird notwendig sein, solche offene Entleerungsbauten von Wildholz ständig zu räumen, um ihre volle Funktionsfähigkeit, besonders für den Katastrophenfall, zu bewahren. Die unterhalb liegenden Wasserberechtigten klagen über die nun über längere Zeiträume verteilte Geschiebeführung (Füllung der Sandfänge bei Wasser-Ableitungen, die nun öfters gespült werden müssen), was ein gutes Funktionieren der Entleerungsfunktion des Werkes bedeutet.

Im Dürnbach war das Werk bisher zwar noch keinen größeren Hochwässern ausgesetzt, doch zeigte sich im Herbst 1969 in dem großen, offen gehaltenen Teil der Gitterrostsperre ein effektiver Rückhalt von Wildholz und Geschiebe. Selbst kleine Äste haben den Balkenabstand unterteilt und Geschiebe aufgehalten. Auch dieses Werk hat eine günstige Funktion als Wildholzfang gezeigt, wobei der natürliche Abtrag des Feingeschiebes zum großen Teil wieder erfolgte.

Für das Funktionieren der Werke ist das Auftreten von Treibholz, wie auch fast alle früheren Autoren bemerken, von größter Bedeutung. Die bisherige Erfahrung lehrt, daß eine zu enge Unterteilung der Gitteröffnungen praktisch zu einem Aufhören der Entleerungsfunktion führt. Das Gitterwerk kommt dann einer Vollsperre gleich, der Vorteil der offenen Konstruktion geht funktionell verloren. Man wird auch die Forderung, das Wildholz nach einem überstandenen Hochwasser zu räumen, in irgend einer Weise mehr als bisher berücksichtigen müssen; und zwar entweder durch einen vermehrten Einsatz des Betreuungsdienstes, oder durch die Heranziehung Ortsansässiger, die erfahrungsgemäß für Sicherheit bietende Vorteile sehr aufgeschlossen sind.

2 3 Weiterentwicklung

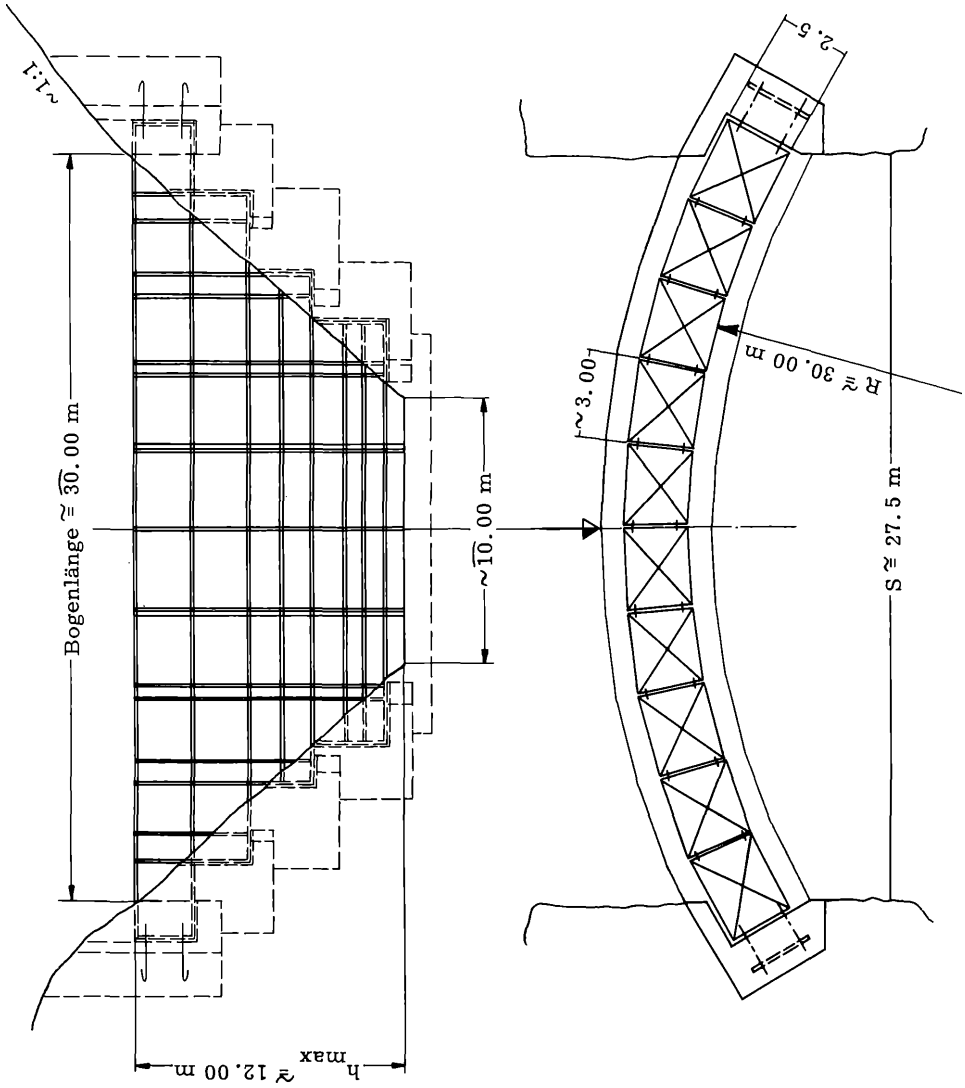
Auf Grund der bisher gewonnenen Erfahrungen und Kenntnisse und unter Berücksichtigung der von Seiten der Praxis gemachten Verbesserungsvorschläge zeichnen sich die Tendenzen für die Weiterentwicklung der Gitterrostsperrn ziemlich klar ab. Nach Mitteilung der ÖAMG wird die vorerwähnte, gewünschte größtmögliche Typisierung der Einzelelemente konstruktiv bereits berücksichtigt. Ein anlässlich einer Besichtigung geäußelter Vorschlag von Herrn Hofrat Dipl. Ing. Dr. Albert WAGNER, Leiter der Wildbach- und Lawinenverbauungssektion Graz, nach einer in Felsprofilen möglichen Vereinfachung der Kronenausbildung durch Verzicht der über die Kronenhöhe aufgezogenen Sperrinflügel ist ebenso realisierbar, wie eine Überprüfung der wirtschaftlich optimalen Abstände der Vertikalrahmen zueinander. Darüber hinaus wird gegenwärtig auch noch die Frage untersucht, inwieweit im Falle der Fundierung in Lockermassen die bergseitige Basisverbreiterung durch Vermehrung oder Verstärkung der Horizontalbalken oder andere Maßnahmen eingeschränkt werden kann. In Felsprofilen läßt sich die Basisverbreiterung durch bogenförmige Ausgestaltung der Sperre vermeiden und die räumliche Lastabtragung durch eine entsprechende Verankerung in Sohle und seitliche Hänge erreichen. Ein diesbezüglicher, alle Verbesserungsvorschläge berücksichtigender Entwurf liegt bereits vor und ist anschließend dargestellt.

3. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Um auch für offene Wildbachsperrn genauere Dimensionierungsgrundlagen zu gewinnen, bzw. über die tatsächlich wirkenden Kräfte Auskunft zu erhalten, wurde an der Gitterrostsperre im Kirchbachgraben eine Meßanlage installiert. Diese ermöglicht die Messung der Auflagerkräfte an ausgewählten Meßstellen und zusammen mit der Messung der äußeren Verformungen einen Vergleich des bekannten Wasserdruckes mit den in Hinkunft bei diesem offenen Werk tatsächlich auftretenden Beanspruchungen. Außerdem kann auch die statische Berechnung durch die erfahrenen Werte gegebenenfalls den tatsächlichen Verhältnissen besser angepaßt werden.

Die für die Messung der Auflagerreaktionen eingebaute Meßanlage besteht aus 16 Druckmeßdosen, die die ÖAMG mit der FBVA gemeinsam entwickelte, in einer Größenordnung von circa 10 bis 40 Mp je nach Meßstelle mit einem max. Durchmesser von 100 mm. 6 Meßdosen messen die horizontalen Auflagerdrücke in Bachrichtung, 4 Meßdosen messen die lotrechten Auflagerdrücke aus Eigengewicht und lotrechter Lastabtragung, 2 Meßdosen die aufwärts gerichteten Kräfte der bergseitigen Verankerung und 4 Meßdosen eventuelle horizontale negative

Abb. 23: Bogenförmige Gitterrostsperr



Auflagerreaktionen. Die Meßdosen ruhen auf Betonwiderlagern. An den Stellen, wo keine Meßdosen angeordnet sind, wurden die Meßwiderlager bis knapp an die Stahlkonstruktion anbetoniert und der noch verbleibende Zwischenraum mit Holzunterlagen satt ausgefüllt. Im übrigen ist die gesamte Meßanordnung aus dem Schema der Messungen im Bericht von Dipl.Ing. G. RUF ersichtlich.

Die Verformungen während und nach den Stauversuchen wurden mittels Alignement geodätisch mit einem Theodoliten und mechanisch mit Meßdrähten, die in verschiedenen Ebenen der Sperre angebracht waren, sowie an drei Loten, die an der Krone befestigt waren, gemessen.

3.1 Belastungsprobe und Messungen

Nachdem die Sperre im Juni 1968 fertiggestellt war, wurde an der Bergseite eine provisorische, hölzerne Stauwand bis über Kronenhöhe angebracht. Im darauffolgenden Monat Juli wurden zwei Belastungsproben durchgeführt. Die Stauversuche gestalteten sich schwierig, weil durch das druckbedingte Nachgeben der provisorischen Stauwand der Wasserverlust sehr groß war. Es mußte deshalb mehrmals nachgedichtet werden. Ein Vollstau kam zunächst nicht zustande, sondern es wurde in zwei Versuchen am 8.7. und 10.7. jeweils eine Stauhöhe von 2,50 m und 1,50 m unter Sperrenkrone erreicht. Nach dieser eigentlichen Meßperiode trat nach Gewittern am 12.7. ein Vollstau bis zur Krone und am 18.7. vorübergehend ein Vollstau mit einer Überflutung der Stauwand bis 0,4 m über Kronenhöhe auf. Die überraschenden Hochwasserereignisse mit Vollstau konnten leider meßtechnisch nicht erfaßt werden. Nachdem die provisorische Stauwand wieder entfernt worden war, wurde die Sperre im entlasteten Zustand jedoch wieder nachgemessen und die bleibenden Formänderungen festgestellt.

Die von RUF (1970) ausführlich dargestellten Stauversuche und Verformungsmessungen ergeben zusammen mit den ermittelten Auflagerkräften ein deutliches Bild vom Tragverhalten der Sperre, wenn auch infolge der Hochwasserereignisse nicht alle erwünschten Messungen möglich waren.

Die horizontalen Auflagerreaktionen betrugen in talwärtiger Richtung (+) in der Meßebe A (Kronenhöhe) insgesamt (=beidufig) + 23 Mp und lagen in bergwärtiger Richtung (-)

unterhalb des Meßbereiches;	< - 6 Mp
sie betrugen in der Meßebe D talwärts gerichtet	+ 78,6 Mp
und waren bergwärts unterhalb des Meßbereiches;	< 6 Mp
im Fundament talwärts	+ 48,2 Mp.

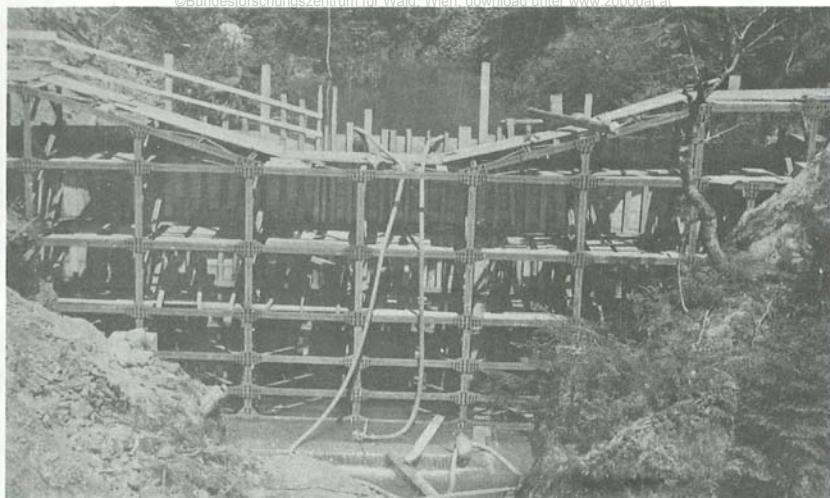


Abb. 24: Probelastung der Gitterrostsperr im Kirchbachgraben. Die Sperrre ist provisorisch mit einer Holzwand abgedichtet, um die Formänderungen und Auflagerkräfte unter bekannter Belastung zu messen
Aufn. Dipl. Ing. Jeglitsch

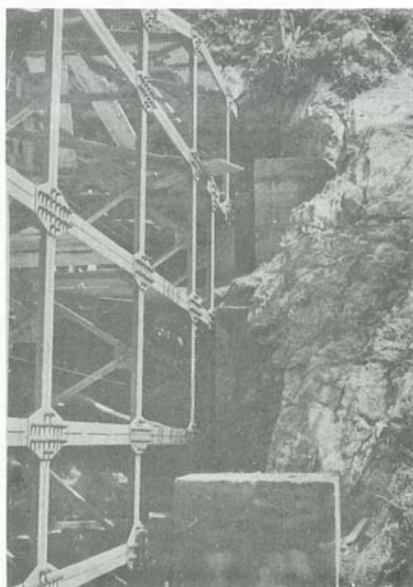


Abb. 25: Meßstelle am linken Ufer der Gitterrostsperr im Kirchbachgraben zur Ermittlung der Auflagerreaktionen während der Probelastung (Wasserdruck) und zur Messung späterer tatsächlicher Beanspruchungen
Aufn. Dipl. Ing. Jeglitsch

Die vertikalen Auflagerkräfte betrugen
 im talseitigen Fundament insgesamt
 im bergseitigen Fundament insgesamt
 und die negativen Kräfte dortselbst

+ 25,0 Mp
 + 8,0 Mp
 6,3 Mp.

3.2 Diskussion der Ergebnisse

Zunächst zeigen die gemessenen Auflagerkräfte mit Berücksichtigung der nicht gemessenen restlichen Auflager eine gute Übereinstimmung mit dem aufgetretenen vollen Wasserdruck und dem Eigengewicht. Die bergseitigen Meßdosen für horizontale negative Kräfte haben in ihrem Meßbereich nicht angesprochen und wurden durch empfindlichere Meßdosen ersetzt. Eine weitere Auswertung seit damals erfolgte noch nicht.

Die gemessenen Verformungen nach den überraschenden Hochwasserlasten sind bleibende Verformungen. Sie lassen sich daher nur tendenzmäßig mit den berechneten Verformungen vergleichen. Die Größe der gemessenen bleibenden Verformungen erklären sich durch die bei der Montage der Konstruktion verwendeten rohen Schrauben, die einen relativ großen Schlupf in allen Stößen und Anschlüssen verursachen. Außerdem kam es zu einigen Kraftumlagerungen: Sowohl die bei den freien Lagerstellen verwendeten Holzfüllungen, als auch einzelne Stahlplattenlager der Druckmeßdosen verformten sich etwas, so daß es zwar zu geringen aber doch merklichen Verschiebungen kam, wie RUF (1970) auch im Alignement feststellen konnte. Schließlich wäre die elastische und plastische Eigenverformbarkeit des Stahles anzuführen. Diese Verformungen und Verschiebungen hatten jedoch keinen nennenswerten Einfluß auf das Tragverhalten der Sperre an sich und klingen nach mehreren Belastungen ab. Die Funktion des Werkes blieb voll erhalten und zeigt die große Anpassungsfähigkeit einer Stahlkonstruktion an ungleiche Lagerungsbedingungen. (Zudem können allfällige tatsächlich auftretende Schäden mit wenig Aufwand behoben werden).

Insgesamt zeigt das Bild der gemessenen Auflagerkräfte und Verformungen eine qualitativ gute Übereinstimmung mit dem angenommenen Rechensystem der statischen Berechnung. Die zweiachsige Lastabtragung erscheint meßtechnisch erwiesen. Die Gitterrostsperre wirkt als dreiseitig frei beweglich gelagerte Platte, ausgebildet als Trägerrost durch starr miteinander verbundene, horizontale und vertikale Fachwerkscheiben. Die gegenüber der Berechnung quantitativen Abweichungen bei den Lagerkräften und Verformungen finden ihre Erklärung in verschiedenen Lagerungsbedingungen und den oben erwähnten örtlichen Verschiebungen und Kraftumlagerungen.

Nach Vorliegen der Meßergebnisse wurde das ursprünglich für die statische Berechnung der Gitterrostsperrern verwendete idealisierte

System durch ein inzwischen neu herausgekommenes elektronisches Rechenprogramm, IBM-STRESS, ersetzt. Dieses auf die Elastizitätstheorie aufgebaute allgemeine Statikprogramm umfaßt die Ermittlung aller Schnittgrößen der Auflagerreaktionen sowie die Verformungen des Systems und hat sich für die gegenständlichen Gitterrostsperrn als sehr gut verwendbar erwiesen.

Nach Austausch der in den Meßdosen durch die Messung verbrauchten Elemente steht die Anlage für die Messung der in Hinkunft tatsächlich auftretenden Belastungen wieder voll zur Verfügung. Über die weiteren Meßergebnisse wird zum gegebenen Zeitpunkt berichtet werden.

4. FUNKTION UND WIRTSCHAFTLICHKEIT OFFENER WILDBACHSPERREN

4 1 Funktion, Spül- und Siebwirkung

Während bisher die verschiedenen Konstruktionen besprochen wurden, soll im folgenden näher auf die Funktion der offenen Querwerke eingegangen werden, die sehr eng mit dem Problem der Stauraumverlandung, -Spülung und -Entleerung zusammenhängt. Bekanntlich vollziehen sich See- und Stauraumverlandungen schwemmkegelartig und es erscheint zweckmäßig, die reichliche Literatur auch auf diesem Gebiet zu streifen und an Hand der bisherigen Erfahrungen mit offenen Wildbachsperrn gemeinsam zu besprechen.

Sobald ein Wildbach in eine Verebnung austritt, lagert er infolge Gefällsverminderung das aus dem Einzugsgebiet mitgeschleppte Geschiebe ab und es bildet sich der sogenannte Schwemmfächer oder Schwemmkegel. Diese Schwemmkegelbildung ist in der Wildbachverbauung bereits eingehend untersucht worden, zuerst von den französischen Klassikern. Die von THIERY dargestellte und von WANG (1901/03) wiedergegebene Theorie beruht augenscheinlich auf dem Geschiebe-Einzeltransport und wird vor allem für Hochwasserbäche als gut zutreffend bezeichnet. Dagegen hat STINY (1910, 1917) die Kegelbildung beim Massentransport, den Muren, in der Natur und in Modellversuchen studiert. Er bezeichnet die durch Muren gebildeten Vollformen als Murschwemmkegel. Diese haben eine neiloidähnliche Form, ihr Böschungswinkel nimmt schließlich von der Spitze gegen den Basisrand des Schwemmkegels allmählich ab, was jedem Auge leicht erkennbar und durch zahlreiche Vermessungen erwiesen ist sowie in den Entwicklungsphasen der Schwemmkegelbildung begründet liegt.

Für den Fall, daß der Wildbach in das Haupttal über eine Wand abstürzt, werden nach STINY drei Abschnitte bei der Schwemmkegelbildung unterschieden:

1.) Die erste Entwicklungsphase umfaßt den Abschnitt vom Beginn bis zu dem Zeitpunkt, da die Kegelspitze den oberen Rand des Steilabsturzes erreicht. Die Vollform hat viel Ähnlichkeit mit den reinen Schuttkegeln, also mit Gebilden, die ohne wesentliche Mitwirkung von bewegenden Wässern entstanden sind. Es entstehen parabolische bis schaufelförmige Grundrißformen, bei denen sich die Länge der Rückenlinie zu jener der Längserstreckung etwa wie 1:0,6 bis 1:0,75 verhält.

2.) Der zweite Abschnitt umfaßt das Längen- und Breitenwachstum des Schwemmkegels, ohne nennenswerte Vergrößerung seiner Höhe, in welchem die Muren "pendelnd" allmählich die ganze Mantelfläche des Kegels bestreichen und eine Zuwachsschicht über die andere aufbauen. Dieser Abschnitt wird daher auch als die Phase der Vorkegel oder Tochterkegel bezeichnet. Das Gefälle beginnt sich in dieser Phase von der Kegelspitze gegen den Basisrand abzuflachen.

3.) Der dritte und letzte Bildungsabschnitt ist durch das allmähliche Hineinwachsen des Schwemmkegels in das Zubringergerinne (Graben) gekennzeichnet und umfaßt die weitere Vergrößerung sowohl der Länge und der Breite nach, als auch die Erhöhung des Schwemmkegels. Im Gegensatz zur ersten Phase spielt in der zweiten und dritten Phase das Wasser als Fördermittel die alleinige Hauptrolle. Die mit der Ausbreitung verbundene allmähliche Verflachung des Schwemmkegelfußes nimmt seinen Fortgang.

Das Mengenverhältnis von Wasser und Geschiebe spielt nach STINY bei der Ablagerung und dem Schwemmkegelaufbau die entscheidende Rolle, während Art und Größe des Geschiebes in ihrer Wirksamkeit zurücktreten. Wasserreiche Ausbrüche graben auf der Kegelspitze tiefe und breite Schurfrinnen ein und schieben am Kegelfuß umso flachere und längere Tochterkegel vor, je mehr die Geschiebemassen gegenüber der Wassermenge zurücktreten. Fahren wasserarme Muren zu Tal, so werden die Schurfrinnen an der Schwemmkegelspitze teilweise verschüttet und steile Vorkegel auf dem Neiloidrücken aufgebaut, deren Fuß den Saum des Mutterkegels kaum erreicht. Sehr häufig bleiben solche Schübe als Murkröpfe oder Schwemmwälste schon in der oberen Hälfte des Kegels liegen. Nachstürzende Hochwässer verursachen in allen Phasen eine teilweise Materialumlagerung, indem sie das feinere Geschiebe mit sich reißen und am Basisrande in einem sich verflachenden Böschungswinkel zur Ablagerung bringen.

Die Vergrößerung der Geschiebe hat ähnlich wie die wasserarmen Muren ein rascheres Wachsen der Schwemmkegel zur Folge, wodurch sich die Kegelspitze versteilert und im letzten Bildungsabschnitt rasch in das Zubringergerinne hineinwächst. Umgekehrt bewirkt eine Verfeinerung des Murmaterials ein viel weiteres Vortragen der Geschiebemassen und ein weiteres Vorschieben von flachen, breiten Tochterkegeln.

In Seen und Stauräumen geht die Verlandung analog schwemmkegelartig vor sich, worauf bereits alle älteren Autoren (SCHINDLER 1889, WANG 1901/03, STINY 1910, HÄRTEL-WINTER 1934, STRELE 1950) hingewiesen haben, allerdings mit dem Unterschied, daß bei den in Wildbachgräben eingebauten Stauräumen die erste Phase der Schwemmkegelbildung meistens entfallen wird. Nach einer Gruppeneinteilung von YATES (1831, bei STINY 1910) wäre sogar eine genetische Einteilung der Schwemmkegel möglich und zwar in:

1.) Murschwemmkegel in zwei Medien abgelagert, d. s. solche, die sich in einen See hinausschieben und im Wasser einen steileren Böschungswinkel annehmen, als oberhalb des Seespiegels;

2.) Murschwemmkegel allein in der Atmosphäre abgelagert. Die weitere Unterteilung beider Klassen hätte dann, je nach der Entwicklungsphase, in der sie sich gerade befinden, zu erfolgen. Sowohl für die Schwemmkegelbildung, als auch für Spülungen und Entleerungen erscheint aber vor allem der allgemeine Grundsatz von Bedeutung, daß Hochwässer und kleine Murgänge für die Schwemmkegelbildung zerstörend wirken oder wenigstens Unregelmäßigkeiten nach sich ziehen, größere Muren dagegen wesentlich aufbauen.

Wenden wir uns aber im folgenden eingehender den Stauräumen zu, die in weiterer Sicht ja nur kurzfristige Störungen des Gleichgewichts eines Gewässers darstellen und deren Seen, wie die natürlichen, durch Auffüllung über kurz oder lang beseitigt werden.

Die speziell mit der Stauraumverlandung und Entleerung zusammenhängenden Fragen wurden zuerst im Kraftwasserbau eingehender untersucht, systematisch beobachtet und durch Modellversuche weitgehend abgeklärt, weil dort durch vorzeitige Speicherverlandungen die verhältnismäßig größten Verluste von Kapitalinvestitionen zu befürchten waren. Es wurde die Frage studiert, wie lange Speicher brauchbar bleiben, welche Teile eines Speichers zuerst verloren gehen und welche Möglichkeiten bestehen, den Wirkungsgrad zu erhöhen (z. B. durch Spülungen, u. ä.) Da diese Fragen im wesentlichen die gleichen sind, wie sie sich in der Wildbachverbauung stellen, sei auch kurz auf die wichtigsten Ergebnisse dieser einschlägigen Untersuchungen eingegangen (SCHOCKLITSCH 1929, 1935, 1950, ORTH 1931).

Die ersten Geschiebeanlandungen erfolgen bei einem Stausee zunächst am See-Einlauf, an der Stauwurzel. Von dort schiebt sich die Geschiebeanlandung ähnlich einem Delta mit steilem Kopf in den Stauraum gegen die Sperre hin vor. Gleichzeitig rückt auch der Anfang der Anlandungen flußaufwärts, wodurch sich auch das talwärtige Vordringen des Geschiebedeltas verlangsamt. Der Schwebabsatz erfolgt hingegen gleichzeitig über den gesamten Stauraum, allerdings mit talabwärts abnehmender Korngröße. Der Schwebabsatz ist zuerst sehr groß und

nimmt dann allmählich mit der Auffüllung des Staubeckens und der dadurch bedingten Querschnittsverringerung und gleichzeitigen Erhöhung der Durchströmungsgeschwindigkeit wieder langsam ab, bis der Schwebabsatz überhaupt aufhört. Dies ist dann der Fall, wenn die kritische mittlere Durchflußgeschwindigkeit, bei der kein Schwebabsatz mehr erfolgt, einen Wert von 0,6 bis 1,0 m/sec. erreicht (SCHOCKLITSCH 1935). Die Geschiebe, die von der Stauwurzel talwärts vordringen, legen sich nicht einfach auf den abgesetzten Schweb ab, sondern verdrängen ihn teilweise, indem sie einsinken. Der Schweb, der vor dieser Geschiebefracht emporquillt, wird vom Wasser wieder fortgespült. Die Ablagerungen verkitten teilweise auch und zwar z.B. dann, wenn in alpinen Gewässern Moränen einen kräftig bindenden Feinstoff liefern (ORTH 1934). Bereits innerhalb eines Jahres verringern Schwemmstoffablagerungen ihren Wassergehalt, soweit es überhaupt möglich ist, und diese nehmen dann im ruhenden Zustand kein Wasser mehr auf, so daß sie nicht mehr ohne künstliche Nachhilfe abgespült werden können (SCHREITMÜLLER-OEXLE 1931).

Um die Verlandung der Stauräume zu verzögern, wurden neben anderen Maßnahmen auch Spülungen vorgenommen und deren Wirksamkeit in der Natur und in Modellen studiert (SCHOCKLITSCH 1926, 1935, 1950). Diese Untersuchungsergebnisse sind auch für die gegenständliche Fragestellung grundlegend. Voraussetzung für eine wirksame Spülung ist die völlige Absenkung des Stauspiegels und ein ausreichender Spülstrom. Die Abspülung von Anlandungen bei vollem Becken ist, wie Erfahrungen und Modellversuche lehren, ausgeschlossen. In diesem Falle wird nur ein engbegrenzter, praktisch bedeutungsloser Kessel ober dem Stauwerk freigespült. Spülungen sind umso wirksamer, je größer und umso tiefer die Spülöffnung ist. Man sieht deshalb die beweglichen Teile der Wehre mit großen Lichtweiten vor, so daß die Wehrpfeiler das Hochwasser nicht stärker stauen, als die Pfeiler einer Brücke. Darüber hinaus sind Spülungen umso erfolgreicher, je schmaler (steile Ufer) und je kürzer das Becken und je steiler das ehemalige Gefälle ist, ferner je feiner und rundkörniger und je jünger und weniger zusammengebacken die Ablagerungen sind. Aber auch wenn diese Bedingungen vorliegen, schneidet der Zufluß durch die rückschreitende Erosion nur einen schmalen Graben in das Geschiebedelta ein. An den Rändern dieser Rinne stehen die Anlandungen anfänglich mit fast lotrechten Wänden, die nach und nach unterspült werden und in den Spülstrom nachstürzen. Der verbleibende Rest außerhalb dieser Rinne wird als unausspülbar bezeichnet.

Die Zeit, innerhalb der ein Stauraum verlandet und die Wirksamkeit einer Stauraum-Spülung läßt sich rechnerisch abschätzen. SCHOCKLITSCH hat hierfür entsprechende Beziehungen gefunden und Formeln angegeben.

In der Wildbachverbauung liegen die Probleme sehr ähnlich. Allerdings soll die "Entleerung" vor allem nur das Feingeschiebe und den Schlamm

betreffen, die meistens vom Wildbach selbst, als auch von dem jeweiligen Vorfluter unschädlich abgeführt werden können. Diese Entleerung geht bei verlandeten konventionellen Sperren in beschränktem Maße auch vor sich, und zwar als sog. "Sondierung" oder als "Geschiebeaustausch", indem das Grobgeschiebe von der Stauwurzel beginnend abgelagert wird, während das Feingeschiebe und die Sinkstoffe abgeführt werden (HÄRTEL-WINTER 1934). In diesem Sinne unterscheidet auch SCHAFFERNAK (1950) zwischen dem dauernden und dem zeitlichen Geschieberückhalt hinter Schottersperren. Dieser Geschiebeaustausch, der ja nach den Grundsätzen der Schwemmkegelbildung (STINY) vor sich geht, ist aber doch immerhin räumlich und zeitlich beschränkt. Im übrigen war man sich darüber im klaren, daß die Art der Geschiebelagerung in den Stauräumen der Wildbachsperren durchaus ähnlich vor sich geht, wie in jenen der großen Kraftwerkspeicher (HOFFMANN 1955) und es begann die im Abschnitt 1) beschriebene Zeit, eine größere Selektion des Geschiebes durch entsprechende Konstruktionen, d. h. durch mehr oder weniger offene Wildbachsperren, anzustreben.

Systematische Untersuchungen wurden von KERENSKI 1963 an vier Naturbeispielen und in ergänzenden Modellversuchen beschrieben. Er konnte an ältere Arbeiten VANDEV's (1945) und PIMPIREV's (1954, beide bei KERENSKI) anschließen und kommt zu dem Ergebnis, daß die Verlandung der Stauräume von Wildbachsperren im wesentlichen in drei Entwicklungsphasen vor sich geht:

Die erste Phase umfaßt die Ablagerung vom Beginn des Anstaus bis zum Zeitpunkt der Kronenüberflutung, d. h. bis zum Zeitpunkt des vollen Wasserstaus. Der Stau beginnt bei einem anschwellenden Hochwasser zwangsläufig von dem Zeitpunkt an, zu dem der Zufluß größer wird als der mögliche Durchfluß durch die Dolen der Sperre. Infolge des plötzlichen Geschwindigkeitsverlustes des abfließenden Wassers beim Anschlagen der Hochwasserwellen an die Sperre lagern sich die ersten Anschwemmungen bei der Sperre ab. Bleibt der Zufluß größer als die Schluckfähigkeit der Dolen, wird der Wasserstand steigen und sich der Anstau ausdehnen. Dementsprechend wandert auch die Stelle des Geschwindigkeitsverlustes des anströmenden Wassers bei Erreichen des Stausees bachaufwärts bis die höchste Lage erreicht ist, das ist die Höhe der Sperrenkrone. Die Verlandung der ersten Phase umfaßt alle ankommenden Feststoffe, die sich wie ein Teppich von der Sperre bis zur Stauwurzel absetzen. Das Volumen ist gering, umfaßt aber alle Körnungen.

Die zweite Phase umfaßt alle Ablagerungen vom Beginn des Überströmens über die Sperrenkrone an bis zur völligen Verlandung des Stauraumes. Erreicht das Wasser durch den Anstau den höchstmöglichen Wasserstand, bildet sich an der Stauwurzel ein Geschiebewall, von wo die Verlandung deltaartig zur Sperre vorgetragen wird und gleichzeitig

die Ablagerung auch schwemmkegelartig bergwärts wandert. Die zweite Phase endet, sobald das Geschiebe die Sperrenkrone erreicht und das Hochwasser zumindest teilweise Geschiebe über die Sperre weiterverfrachtet. Diese zweite Phase bildet volumenmäßig den wesentlichen Teil der fertigen Ablagerung.

Die dritte Phase betrifft die weiteren Ablagerungen über die erste formierte Verlandung bis zu dem Zeitpunkt, wo die gesamte Geschiebeverfracht über die Sperre abzufließen beginnt. Die dritte Phase ist die längste an Dauer und geht langsam in ein Stadium über, das der normalen Geschiebeführung im Wildbachbett ohne Querwerk entspricht.

Die Länge der Ablagerungen hinter der Sperre ist nach KERENSKI immer bedeutend größer als die maximale Länge des Stausees. Mit der Entfernung von der Sperre nimmt der Anteil der feineren Körnungen bachaufwärts ab, der Anteil der gröberen Körnungen zu. In Fällen, wo die Verlandung durch große Dolen beeinflusst wird oder wenn die Verlandung nicht nach einem sondern mehreren Hochwässern erfolgt, ergeben sich entsprechende Änderungen der Reihenfolge bzw. Wiederholungen der ersten und zweiten Phase des Verlandungsprozesses, allerdings unter neuen Bedingungen. Das Gefälle der Verlandung ist wesentlich verschieden von dem übrigen Ausgleichsgefälle. Der Ausdruck "Verlandungsgefälle" erscheint demnach berechtigt, wenn es sich auch nicht um ein einziges gleichartiges Gefälle, sondern im Endstadium um einen bachaufwärts veränderlichen Übergang zu dem unter den örtlich gegebenen Bedingungen entstandenen ursprünglichen Bachgefälle handeln wird. Bis zu diesem Endstadium mit ausgebildeter Deckschicht wird das Verlandungsgefälle einem längerwährenden Auf- und Abbau unterworfen sein (dritte Phase), in welcher Zeit der bereits oben erwähnte Geschiebeaustausch (HÄRTEL-WINTER) in dem zeitlichen Rückhalteraum (SCHAFFERNAK) vor sich geht.

Während KERENSKI (1963) die Verlandung konventioneller Sperrentypen untersucht hat, hat HAMPEL (1968) die Verlandungsvorgänge in Gittersperren, in einfacheren Modellversuchen studiert. Er weist ebenfalls darauf hin, daß die Ablagerungen schwemmkegelartig vor sich gehen, am Talboden ebenso wie in Verlandungsräumen, und daß daher die Gefälle der Schwemmkegel und der Verlandungsräume gleich sein müssen, wenn sie unter gleichen Bedingungen entstehen. Die Gefälle sind hauptsächlich vom Geschiebeanteil der Hochwässer abhängig (daher auch steilere Murenkegel), erst in zweiter Linie von der Korngröße und vom Gefälle des Gerinnes.

Da die Ablagerung bei konventionellen Entleerungssperren an der Stauwurzel beginnt, ist bei ihnen praktisch keine Dosierung möglich, weil eben das gesamte Geschiebe zur Ablagerung kommt, bis der Delta-

kopf die Sperre erreicht und auch das Geschiebe die Sperre überströmt. Bei Schlitzsperren ist die Wirkung günstiger, weil sie eine tiefe Erosionsbasis aufweisen. Trotzdem ist auch hier die Ablagerung nicht ideal, weil sie auch durch Stau vor sich geht und nach vollzogener Verlandung nur eine schmale Erosionsrinne ausgeräumt wird. Die Voraussetzung für die Entleerung bei Entleerungs- und Schlitzsperren sind ausreichende Spülwässer (geschiebearme Mittel- und kleinere Hochwässer).

Gittersperren weisen den Vorteil auf, daß sie einen nahezu staulosen Abfluß des Hochwassers ermöglichen. Die Siebwirkung nimmt mit steigender Gitterweite (Stababstände) und mit wachsendem Bachgefälle zu, mit steigendem Geschiebeanteil ab, Muren blockieren geradezu die Siebwirkung. Als Ergebnis der Modellversuche empfiehlt HAMPEL Gitterweiten zwischen 80 und 200 % des größten Geschiebekorns. Wenn die Gitterweite nur wenig kleiner (0,8) ist als das Größtkorn, ist die Siebwirkung günstiger und umfaßt mehr Grobgeschiebe als bei noch kleinerer Gitterweite, allerdings ist eine selbsttätige Entleerung nur möglich, wenn die Gitterweite größer ist als das Größtkorn. In diesem Falle sollen die Sperren nur durch Murgänge verlanden. Die größeren Werte (160 - 200 %) gelten für Murgänge, wenn sie nicht zur Gänze aufgefangen werden müssen.

In der Praxis verringert sich die Siebwirkung wesentlich, wenn man wegen der Gefahr der Hangauskolkung die Gitterbreite auf die Breite des Bachbettes reduzieren muß. Gegenüber den Modellen ist dadurch eine starke Verringerung des Durchflußquerschnittes gegeben. Auch die Balkenstärke ist im Verein mit kleinen Gitterweiten imstande, den gesamten Durchflußquerschnitt weiter einzuengen. Für die Praxis ergibt sich daraus ein weiterer Grund zur Verwendung großer Gitterweiten.

Entgegen den Versuchsergebnissen HAMPEL's hat der Verfasser in der Natur noch keine nennenswerten "Sekundärkegel" (seitliche Schwemmkegel an den Seitenwandungen des Modellgerinnes bzw. -Ablagerungsplatzes) bei natürlichen Verlandungen von Stauräumen und Ablagerungsplätzen beobachtet. Auch KERENSKI, der die Verlandung der Stauräume in der Natur und im Modell sowohl im Längen- als auch im Dickenwachstum untersucht hat, hat solche Erscheinungen nicht beschrieben. Es dürfte sich bei diesen "Sekundärkegeln" um Modellerscheinungen handeln, die, durch glatte Gerinnewandungen bedingt, nicht ohne weiteres in die Natur zurück übertragen werden sollten. Eine weitere sehr wesentliche Divergenz zwischen Modellversuch und Natur dürfte überhaupt in der Wechselhaftigkeit der Geschiebeführung in Wildbächen liegen. Abgesehen davon, daß sich nach MAYRHOFFER (1969) die selbst im Flußbau auch nur bei hinreichend zutreffenden Verhältnissen anwendbaren (weil unter bestimmten Modellbedingungen entwickelten) Ge-

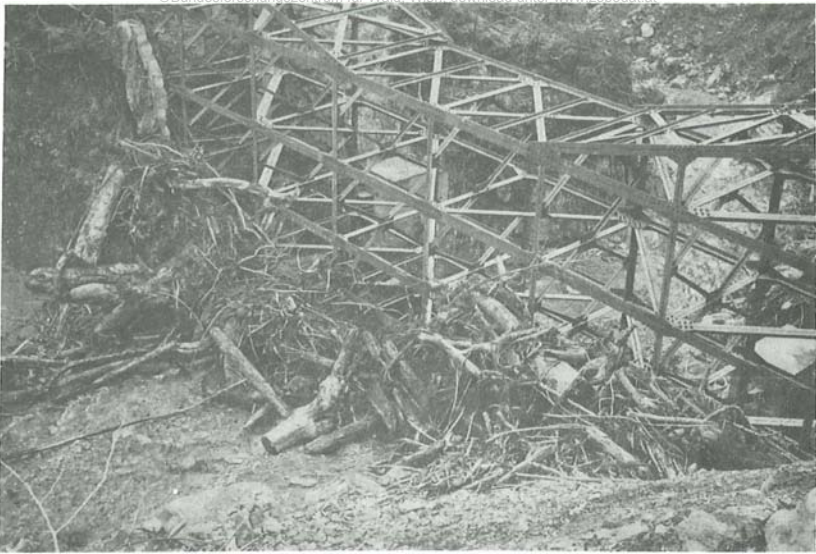


Abb. 26: Wirkung der Sperre als Wildholzfänger nach Hochwasser

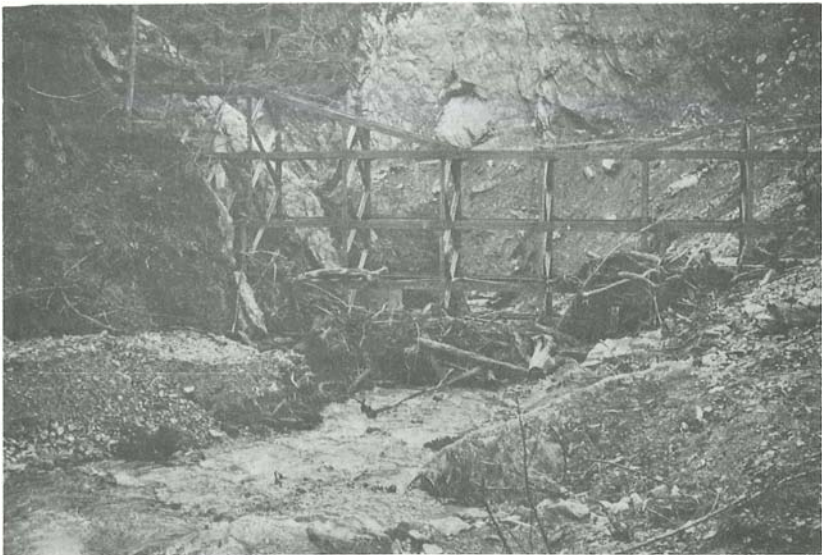


Abb. 27: Dem Hochwasser nachfolgende Mittelwässer haben die angeschwemmten Geschiebemassen z. T. wieder abtransportiert. Ein Rest dieser Geschiebeablagerung ist am linken Ufer noch zu sehen

betriebsformeln für die Verhältnisse in Wildbächen (größere Gefälle, keine stationäre Strömung, etc.) im besten Falle nur in Ausnahmefällen anwenden lassen, liegt die allerwesentlichste Divergenz zwischen den genannten Modellversuchen und der Natur wohl darin begründet, daß sich, ganz abgesehen von den Muren, der Geschiebeanteil der Hochwässer kaum vorhersagen läßt und sich Geschiebekörnungen nicht nur aus den vorhandenen Geschiebequellen ableiten lassen, weil immer wieder unvorhergesehene neue Geschiebequellen entstehen.

Für die Balkenabstände in Gittersperren liegen vor allem im Ausland bereits lange zurückgehende Erfahrungen (s. Abschn. 1) vor (BELLAN et MICHEL 1960, GRAC 1964, MONNET 1966, PUGLISI 1968 u. a.), die durch eigene Beobachtungen ergänzt werden konnten. Demnach hat die Wildholzfrage in bewachsenen Einzugsgebieten eine entscheidende Bedeutung und ist bei Festlegung der Gitterweiten unbedingt zu berücksichtigen. In unbewachsenen Gebieten hat sich PUGLISI (1968) nach dem an der Sperrenstelle vorhandenen Größtkorn, welches zurückgehalten werden sollte, gerichtet und die Balkenabstände ungefähr in der selben Größe gewählt. Die meisten anderen Autoren geben zu dieser Mindestdimension noch einen Zuschlag für Wildholz, der auf örtlicher Erfahrung beruht. LEYS (1968) unterscheidet je nach Funktion zwischen Feinrechen (mit Balkenabständen zwischen 2 und 20 cm) und Grobrechen (zwischen 20 und 100 cm Balkenabstand), welche Spielräume den wechselhaften Verhältnissen in bewachsenen Wildbachgebieten eher gerecht werden dürften. Außerdem hält er die Berücksichtigung der Kornform des maßgeblichen Geschiebes für die Festlegung der Balkenabstände notwendig.

Besprechung der Ergebnisse

a) Die sich mit der Stauraumverlandung und Entleerung von Stauräumen befassenden Arbeiten zeigen, daß die Probleme bei Talsperrenspeichern und Geschiebestauräumen im wesentlichen gleichartig sind. Für die Spülung von großen Speichern und für die Entleerung von Geschiebestauräumen der Wildbachsperren gelten annähernd die gleichen Grundsätze. Neben anderen, oben ausführlicher dargestellten Bedingungen (Spülwirkung in engen, steilen Gerinnen größer; Einfluß der Korngröße, etc.), erscheint für die gegenständliche Betrachtung wesentlich, daß die Spül- und Durchlaßöffnungen der Sperre möglichst groß und umfassend sein sollen, um einen nahezu staulosen Abfluß der Hochwässer zu gewährleisten. Jede Verringerung des Durchflußquerschnittes wirkt sich für die Sieb- und Spülwirkung nachteilig aus. Es müssen daher alle diejenigen Bautypen wirkungsvoller und funktionell wirtschaftlicher sein, welche die größten Durchlaßquerschnitte aufweisen, daß sind vor allem die vollkommen offenen Gitterwerke.

b) Das vollkommene Offensein von Gittersperren ist in Felsprofilen am einfachsten zu verwirklichen; es genügt dann, die Konstruktion im Fels zu verankern. Netzsperren kommt wegen der schwierigen Instandhaltung, der unklaren Lastabtragung und Seilknickgefahr wohl mehr provisorischer Charakter zu. Das Anwendungsgebiet der Balkenbauten GRAC's erstreckt sich hauptsächlich auf kleine Felsprofile. Für vollkommen offene, größere permanente Anlagen wurde in der hier vorgestellten Gitterrostsperrre konstruktiv durch Heranziehen der räumlichen Lastabtragung die bisher wirtschaftlichste Lösung gefunden.

c) Wenn die seitliche Einbindung offener Wildbachsperren in Lockermassen erfolgen muß, wird man entweder das Durchströmprofil auf das eigentliche Bachbett beschränken, um die Abspülung der seitlichen Hänge zu vermeiden, oder man verbleibt bei der offenen Konstruktion und pflastert die Hänge im Vorfeld ab. Die Beschränkung auf das Bachbett erfolgt meistens aus konstruktiven Gründen (einachsige Lastabtragung durch Abstützung des Rostes in der Bachrichtung oder auf seitliche Pfeiler oder Sperrenflügel). Die Flügel von Balkensperren werden meistens gemauert oder betoniert, die Gitterrostsperren können einen Stahlverzug erhalten. Diese Profileinengung ist jedoch ein funktioneller und wirtschaftlicher Nachteil. Man sollte daher bei entsprechender Tragfähigkeit der Hänge unbedingt mehrere Varianten (Abpflasterung der Hänge, aufgemauerte Sperrenflügel, Stahlverzug) je nach den örtlichen Verhältnissen studieren.

d) Die Feststofffracht umfaßt vor allem in bewachsenen Einzugsgebieten nicht nur Geschiebe und Schweb, sondern auch Schwemmsel oder Treibzeug (Wildholz, Zweige, Äste, Wurzelstöcke und dergleichen). Es hat sich bisher gezeigt, daß sich fast alle Rechen und Gitter durch dieses Treibzeug schnell verlegen. Nach dem Treibzeug und den größeren Geschiebestücken werden auch alle folgenden kleineren Geschiebestücke abgelagert. Nach den bisherigen Erfahrungen bleiben die Gitteröffnungen erst von etwa einem Meter Gitterweite an unverklast. Allen Arten von Gittersperren wird man also, solange die Gefahr von Wildholzverklausungen besteht, weniger eine bestimmte Sieb- oder Dosierwirkung für spezielle Geschiebekorngrößen zumuten, als vielmehr eine bessere vollständigere Entleerungsfunktion gegenüber konventionellen Typen.

Bei konventionellen Sperren beginnt z. B. das Geschiebe bereits von dem Zeitpunkt an über die Sperre zu strömen, wenn der bachabwärts wandernde Deltakopf die Sperrenkrone erreicht und es bleiben dann oftmals die seitlichen Sperrenflügel unverlandet. Dagegen wird das Geschiebe bei den Gitterwerken durch jede noch vorhandene Öffnung, bei den vollkommen offenen Sperren auch durch die seitlichen Flügel fortgetrieben. Der natürliche Geschiebeabtrag geht also mit zunehmender Offenheit länger vor sich, womit auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage zunimmt.

e) Die Balkenabstände sollen veränderlich sein, d.h. den jeweiligen örtlichen Verhältnissen, ihrer Funktion, der jeweils maßgeblichen Geschiebekorngröße und erfahrungsmäßigen Treibholzfracht angepaßt werden können. Ein alleiniger Geschieberückhalt verlangt Balkenabstände in ein- oder mehrfacher Größe der größten zurückzuhaltenden Geschiebestücke. Grobgeschiebe-, Wildholz-, und Murenfänger verlangen entsprechend größere Öffnungen.

f) Das rasche Verlegen der Gittersperren mit Treibzeug u. dgl. setzt diese Werke außer Funktion. Um die Funktion zu erhalten, ist eine ständige Beaufsichtigung und Betreuung zur Freilegung nach jeder größeren Verklauung notwendig. Dabei werden auch Maschinen zum Einsatz kommen und ist eine Zufahrbarkeit der Sperrenstelle zweckmäßig und wünschenswert. Der Einsatz sollte sich nur auf die Freilegung des Werkes beschränken und der folgende Geschiebeabtrag natürlich vor sich gehen können.

g) Die von mehreren Autoren erwarteten größeren Verlandungsgefälle bei Gitter- und Filtrierwerken (ROSIC, CLAVE, DUJSENOV) werden tatsächlich nur bei sehr groben Körnungen mit geringen Feinteilmengen eintreten. In unserem Alpenraum mit den großen Schwebstoffmengen und z.T. bindenden Feinstoffen wird eine solche Wirkung nur selten zu erwarten sein. Man wird in unserem Raum vielmehr bei Vollverlandung ein ähnliches Gefälle wie bei den konventionellen Sperren annehmen müssen, welches sich im zeitlichen Geschieberückhalteraum je nach Mengenverhältnis, Wasser Geschiebe und vorherrschenden Korngrößen der verschiedenen Hochwasserführungen usw. einstellen wird (sofern nicht wieder eine Entleerung durch die offene Sperre erfolgt). Erfahrungsgemäß können sich Geschiebeanlandungen bis zur völligen Wasserundurchlässigkeit (HAIDEN 1935, ORTH 1934, BELLAN et MICHEL 1960) verdichten und wird man mit einer größeren "Filterwirkung" durch das Verlandungsmaterial hindurch, das sich auf das Verlandungsgefälle auswirkt, im allgemeinen kaum rechnen dürfen.

h) Prinzipiell kommt für offene Wildbachsperren jedes taugliche Material in Betracht. Bei starkem Frost und ständigem Wechsel der Feuchtigkeitsverhältnisse haben sich jedoch Stahlbetonfertigteile als anfällig erwiesen, insbesondere auch gegen die mechanischen Stoßbeanspruchungen. Es wird daher im allgemeinen dem Stahl (Profilstahl und Eisenbahnschienen) oder wenigstens starkgliedrigen, besonders geschützten Stahlbetonbalken der Vöorzug zu geben sein. Bei Verwendung von Stahlseilen sind der schwierige Rostschutz und die Seilknickgefahr zu beachten.

i) Die wirtschaftlichsten Vorteile der Fertigteilbauweise, auch in der Wildbachverbauung, haben sich vor allem an ausländischen Beispielen

wiederholt bestätigt gefunden. Bei der Konstruktion der hier besprochenen Gitterrostsperre wurde auch auf die Möglichkeit der Vorfertigung und Montage nach einem Baukastensystem Bedacht genommen. Der Werkstoff Stahl erscheint hierfür, infolge seiner besonderen Festigkeitseigenschaften, besonders gut geeignet.

4 2 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit offener Sperren im Vergleich zu Vollsperrern in funktioneller Hinsicht, ist von so vielen Faktoren beeinflusst, daß sie sich kaum allgemein zahlenmäßig ausdrücken läßt. Es kann z. B. eine konventionelle Sperre mit großen Dolen und einem Grobrechen besser entleeren und somit wirtschaftlicher sein als eine offene Sperre mit kleinen Balkenabständen. Es wurde gerade deshalb die funktionsweise und die wirtschaftliche Anwendung der verschiedenen Konstruktionsarten im Vorhergehenden ausführlicher besprochen. Demnach liegen, unter vergleichbaren Bedingungen und bei Zutreffen der nötigen Voraussetzungen (Spülwässer, etc.), die funktionellen Vorteile offener Sperren in einer längeren Wirkungsdauer, in der durch Entleerungen oftmals wiederholten Funktion, in der Aussiebung bestimmter Korngruppen und von Verklausungen verursachendem Treibzeug, u. a. Da diese Entleerung, Wildholz- und Geschiebeaussiebung vollständiger erfolgen kann als in den bisher üblichen konventionellen Sperren, kann man nach den bisherigen Erfahrungen für offene Werke ein 1 bis 3-fach größeres Verlandungsvolumen, oder eine 1 bis 3-fach längere Wirkungsdauer im Vergleich zu Vollsperrern annehmen. Um auch in dieser Hinsicht zu einem konkreten Vergleichsmaterial zu kommen, erscheint es in Hinkunft allerdings notwendig, auch die anfallenden Räumungs- und Freilegungskosten genau zu erheben.

In konstruktiver Hinsicht ist ein Vergleich zwischen Vollsperrern und den verschiedenen Konstruktionen leichter möglich. Allerdings besteht, wie im ersten Abschnitt aufgezeigt, eine solche Fülle von Bautypen und jede weitere Variationsmöglichkeit ist derart groß, daß es auch hier schwierig sein dürfte, einen annähernd befriedigenden, allgemein gehaltenen Kostenvergleich durchzuführen, der auch verschiedene örtliche Verhältnisse berücksichtigt. Nach den bisherigen Erfahrungen werden als Vorteile am häufigsten genannt: Leichtere Konstruktion, geringeres Transportvolumen, geringerer Arbeitsaufwand, Möglichkeit der Vorfertigung, Winterbau, Möglichkeit des Einsatzes ungelernter Arbeitskräfte und bei möglicher Bevorratung auch ein Pioniereinsatz in Katastrophenfällen, leichtere oder keine Wasserhaltung während der Bauherstellung, geringere Kolkgefahr, leichtere Lösbarkeit von Verklausungen in dem überall zugänglichen Gitter, größere Beweglichkeit und Nachgiebigkeit, sowie Verformbarkeit des Stahles bei Auftreten von Boden- und Hangbewegungen, usw. Nun lassen sich einige die-

ser genannten Vorteile zahlenmäßig nicht genau erfassen (Winterbau, Katastropheneinsatz). Andererseits liegt ein Hindernis für die Stahlverwendung im Preis. Es dürften daher für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einige Zahlenbeispiele nach den bisherigen Erfahrungen am aufschlußreichsten sein, wobei wir uns nur auf wenige, gebräuchlichere Bautypen beschränken wollen.

Die folgenden Kostenvergleiche stützen sich wiederum auf die Angaben der zuständigen Gebietsbauleitungen. Für die verschiedenen Varianten müssen allerdings gleiche Bedingungen herrschen. So ist im Kirchbachgraben der für die Installation der Meßanlage getätigte Aufwand, der sich z. B. auch in einem genaueren Fundamentsaushub auswirkte, zu berücksichtigen. Auch im Dürnbach ist ein direkter Vergleich zunächst nicht möglich. Denn die Fundierung der Gitterrostsperrre erfolgte auf einem vorhandenen Steinkastenbau, der beim Bau einer Massivsperrre wahrscheinlich entfernt und durch ein tieferes Fundament ersetzt worden wäre. Um diese Profilsfläche einschließlich eines Aushubes trotzdem vergleichen zu können, wurde daher die Bachsohle in 1,50 m Höhe von der Konstruktions-Unterkante angenommen, bei einer gesamten Sperrenhöhe von 6,20 m. Im Falle Dürnbach kommen schließlich auch mehrere Varianten für die Vollsperrre in Betracht, die für die Schaffung einer Vergleichsbasis zu berücksichtigen sind. Schließlich war als Beitrag der Österr. Alpine Montangesellschaft an der Entwicklung der Stahlpreis für die beiden Prototypen herabgesetzt, während der Stahl normalerweise um etwa 50 % höher angeboten wird. Auch dieser Umstand muß durch eine Vermehrung der Vergleichvarianten seine Berücksichtigung finden.

I. Das Variantenstudium für die Sperrre im Kirchbachgraben erfolgt bei dem gegebenen Felsprofil durch einen Vergleich mit einer Gewölbesperrre. Mangels eines in der nächsten Umgebung verfügbaren Bausteines werden hier die Sperren betoniert, die Sperrenkronen erhalten Haustein-MW. Die Anlieferung des Baumaterials ist schwierig, weil der Zufahrtsweg nur mit Unimog befahren werden kann und sich deshalb zusätzliche Umladekosten ergeben, die sich naturgemäß auch im Betonpreis auswirken müssen. Auch der Fels muß relativ aufwendig durch Schremmen ausgehoben werden. Somit ergeben sich folgende Varianten:

Variantenstudium Kirchbachgraben:

I. a) Gewölbesperrre in Beton mit einer Sperrenstärke von 1,30 m:

Felsaushub	33 m ²	2,5	82,5 m ³	250	20.625 S
Rüttelbeton	1,155 144 m ²	1,3	216,2 m ³	850	183.770 S
Kronen-MW (Zuschlag)	16,7	0,3	5,0 m ³	1000	<u>5.000 S</u>
Summe I. a)					209.395 S
					(100%)

I. b) Gitterrostsperrre Prototyp:

Felsaushub	12 m ³	250	3.000 S
Fundamentsbeton	12 m ³	850	10.200 S
Stahlkonstruktion	21,6 to	8000	173.000 S
Transport und Montage (720 h à 42 + 4 . 258 S)			34.500 S
		Summe I. b)	220.700 S (105%)

I. c) Gitterrostsperrre mit normalem Stahlpreis:

Felsaushub, Beton, Transport und Montage wie I. b)			47.700 S
Stahlkonstruktion	21,6 to	12.500	270.000 S
		Summe I. c)	317.700 S (152%)

II. Dürnbach: Unter bewußter Außerachtlassung der besonderen Verhältnisse im Dürnbach (Seitendruck durch beidseitigen Talzuschub) soll dieses Sperrenprofil einem Kostenvergleich für Fundierungen in Lockermaterial dienen. Bei der hier für den Vergleich angenommenen relativ kleinen Fallhöhe (Fallhöhe 4,7 m, Fundierungstiefe 1,5 m, Gesamthöhe 6,2 m) aber gleichzeitig relativ großen Spannweite (in der Krone 26 m) überschneiden sich die Anwendungsbereiche der verschiedenen Vollsperrrentypen. Es muß daher zuallererst die als Vergleichsbasis heranzuziehende Vollsperrre ebenfalls in einem Variantenstudium ermittelt werden.

Wie an anderer Stelle bereits ausführlich behandelt (KRONFELLNER-KRAUS 1962), kommen für die Fundierung in Lockermaterial je nach Beschaffenheit der seitlichen Hänge folgende Typen in Betracht: Reine Gewichtssperre, Gewichtsplattensperre, Bogengewichtssperre, sowie der Etappenbau. Die damaligen Ergebnisse haben inzwischen durch weitere Untersuchungen (KRONFELLNER-KRAUS 1966 und 1967) ihre Bestätigung gefunden. Entgegen einigen Diskussionsbeiträgen (BERGTHALER 1967 und HOFFMANN 1969) ist die Platten- und Gewölbewirkung ein ebenso fester und bewährter Begriff des Sperrenbaues (KELEN 1926, TÖLKE 1938, PRESS 1953) wie die Anwendung einer räumlichen Lastabtragung (Rostverfahren) auch für gradlinige Sperren (RESCHER 1965). Die Sicherheitsfrage für Wildbachsperren hat kein geringerer als CHWALLA diskutiert, so daß sich weitere Erörterungen in diesem Zusammenhang erübrigen. Eine Richtigstellung erscheint aber notwendig: Wenn BERGTHALER dem Schlusse kommt, daß die Anwendung der Formel $b = 0,335 \cdot t$ nur für Sperren bis 5 m Höhe, aber nicht für höhere Sperren anwendbar ist, so ist dies eine unstatthafte Vereinfachung, denn tatsächlich darf diese Formel nur in Zusammenhang mit der jeweiligen Spannweite verwendet werden, um Unterdimensionierungen zu vermei-

den. Infolge der bei den üblichen Spannweiten von Wildbachsperren fast immer vorhandenen seitlichen Lastabtragung auf die seitlichen Hänge, kommt es auch nicht zu den allein nach der Gewichtsmauertheorie errechneten Druckspannungen im Fundament, wie bereits durch Messungen nachgewiesen werden konnte. Entgegen anders lautenden Auslegungen sei auch festgehalten, daß die geradlinigen Sperren in Österreich durchaus Erddrucksperrern sind (Erddruck als ständige Last), bei denen der in Ausnahmefällen (Hochwasser, verstopfte Dolen) mögliche größere Wasserdruck in einer der Bautype entsprechenden Weise entweder einachsrig nur auf den Untergrund oder zweiachsrig auf den Untergrund und auf die seitlichen Hänge übertragen, oder durch entsprechende Bauausführung (Etappen) überhaupt verhindert wird, über die gesamte Sperrenhöhe zu wirken. Darüber hinaus ist es inzwischen sowohl im In- als auch im Ausland mehr und mehr üblich geworden, größere auftretende Biegezugspannungen durch zusätzliche Bewehrungen entsprechend zu reduzieren oder auszuschalten (KRONFELLNER-KRAUS 1968). In diesem Sinne sind im folgenden die in Betracht kommenden Varianten auch für Vollsperren ermittelt.

Auch im Dürnbach herrschen wie bereits erwähnt schwierige Einrichtungsbedingungen, denn das Baumaterial muß über zwei Seilbahnen antransportiert werden. In dem Grobgeschiebe und Muren führenden Wildbach erhalten die Sperrenkronen eine Stärke von etwa 1,6 m, weil sonst die Kronen erfahrungsgemäß schwer beschädigt oder die Sperrenflügel über der Kronenhöhe abgerissen werden. Bei einem 20 %-igen Anzug ergibt dies als höchstgelegene Flügelstärke einen Wert von rund 1 m.

Variantenstudium Dürnbach:

II. a) Reine Gewichtssperre, ständige Last: Erddruck. Im Falle einer Ausnahmebelastung durch Wasserdruck wandert die Resultierende im Fundament bis auf $1/6$ der Basisbreite zur Talseite. Bei einer Kronenstärke von 1,6 m und einem Anzug von 20 % ist der Sperrenfuß pentagonal talseitig verstärkt nach der Formel:

Basisbreite $b = 0,55 \cdot t - 0,4$ (HOFFMANN 1969, BERGTHALER 1969)

Materialaushub	376,0 m ³	150	56.400 S
Rüttelbeton	479,4 m ³	850	407.490 S
Kronen MW (Zuschlag)	5,0 m ³	1000	<u>5.000 S</u>
			468.890 S
			(107%)

Das pentagonale Profil ist gegenüber dem reinen Trapezprofil wirtschaftlich überlegen, es bleibt aber die Gefährdung der talseitigen Verstärkung durch das überfallende Geschiebe.

II.b) Unbewehrte Gewichtsplattensperre: Lastaufteilung empirisch zu 0,5 auf die Gewichts- und zu 0,5 auf die Plattenlamellen (b 0,437.t):

Materialaushub	358,0 m ³	150	53.700 S
Rüttelbeton	474,8 m ³	850	403.580 S
Kronen MW (Zuschlag)	5,0 m ³	1000	<u>5.000 S</u>
			462.280 S
			(105%)

Bei der gegebenen Spannweite befindet sich die unbewehrte Gewichtsplattensperre an der Grenze ihres Anwendungsbereiches und ist daher eine Bewehrung (s.II.c) oder bogenförmige Gestaltung (s.II.e) tunlich.

II.c) Bewehrte Gewichtsplattensperre (Anzug 20 % ergibt: b 0,37 t)

Materialaushub	340,0 m ³	150	51.000 S
Rüttelbeton	443,1 m ³	850	376.635 S
Kronen MW (Zuschlag)	5,0 m ³	1000	5.000 S
Bewehrungsstahl	211,0 m ³	30	<u>6.330 S</u>
			438.965 S
			(100%)

II.d) Unbewehrte Gewichtssperre im Etappenbau: Die erste Etappe wird in einem auf 2/3 der Drucktiefe ($t=h+u$) aufgeführt, so daß die erste Etappe eine Basisbreite von etwa 0,5. t_1 aufweist. Die zweite Etappe wird nach der Verlandung der ersten ausgeführt, so daß die Basisstärke für die gesamte Sperre im Hinblick auf das im Dürnbach vorhandene eckige Gerölle gelten kann: b 0,335. t. Die Gesamtkubatur kann in einem errechnet werden, doch sind die zusätzlichen Einrichtungskosten für die zweite Etappe in Rechnung zu stellen. Da im Dürnbach in nächster Nähe der gegenständlichen Sperre auch in den kommenden Jahren gearbeitet wird, ist auch diese Variante interessant, da dann die zusätzlichen Einrichtungskosten nicht allzu groß sein dürften.

Materialaushub	323,0 m ³	150	48.450 S
Rüttelbeton	422,0 m ³	850	358.700 S
Kronen MW (Zuschlag)	5,0 m ³	1000	5.000 S
zusätzliche Einrichtungs- und Räumungskosten			<u>26.000 S</u>
			438.150 S
			(100%)

II. e) Gewichtsbogensperre: b 0,335 t

Materialaushub	323,0 m ³	150	48.450 S
Rüttelbeton (422 1,05 =)	443,1 m ³	850	376.635 S
Kronen MW (Zuschlag)			<u>5.000 S</u>
			430.085 S
			(98%)

Wenn auch im Dürnbach eine Gewichtsbogensperre nicht in Betracht kommt, so zeigt das gegenständliche Variantenstudium doch die große Wirtschaftlichkeit dieser Sperrentype. Bei der gegebenen Sperrenhöhe variieren die verschiedenen Varianten mit ca. 10% Abweichung noch nicht allzusehr, die Bedeutung des Variantenstudiums nimmt jedoch mit zunehmender Sperrenhöhe rasch zu. Als Vergleichsbasis für die Gitterrostsperrren werden für den Dürnbach die Varianten II. c) und II. d) herangezogen.

II. f) Gitterrostsperrre Prototyp:

Materialaushub	412,0 m ³	150	61.800 S
Stahlkonstruktion	48,0 to	8000	384.000 S
Montage und Transport			<u>53.000 S</u>
			498.800 S
			(114%)

II. g) Gitterrostsperrre mit normalem Stahlpreis:

Materialaushub	412,0 m ³	150	61.800 S
Stahlkonstruktion	48,0 to	12500	600.000 S
Montage und Transport			<u>53.000 S</u>
			714.800 S
			(163%)

III. Der Vergleich der Stahlkonstruktionen verschiedener Typen von Gittersperren untereinander ist durch einen Vergleich des erforderlichen Konstruktionsgewichtes pro m² freier Profilsfläche einfacher. Nach bisher ausgeführten Gittersperren ergeben sich folgende Werte:

III. a) In Bachrichtung abgestützte Konstruktion, einachsige Lastabtragung:

40,6 to / 140 m ²	0,293 to/m ²	12.500	4.562 S/m ²
10,2 to / 40 m ²	0,262 to/m ²	12.500	3.280 S/m ²

III. b) Gitterrostsperrre mit räumlicher Lastabtragung:

21,6 to / 144 m ²	0,150 to/m ²	12.500	1.875 S/m ²
48,0 to / 211 m ²	0,228 to/m ²	12.500	2.830 S/m ²

Der Vergleich verschiedener Konstruktionsarten zeigt die Überlegenheit der Gitterrostsperrre mit zweiachsiger Lastabtragung gegenüber Gittersperren mit einachsiger Abstützung. Darüber hinaus sind Gitterrostsperrren umso wirtschaftlicher, je enger das Profil oder je kleiner die Spannweite ist.

Besprechung der Ergebnisse

a) Die Wirtschaftlichkeit von Gittersperren ist vor allem funktionell gegeben bei vollkommenem Offensein. In diesem Falle stellt die offene Wildbachsperrre praktisch eine neue, zusätzliche Verbauungs- und Vorbeugungsmethode dar, die erst im Notfall durch Aussieben von großem Wildholz, Grobgeschiebe und Auffangen von Muren in Funktion tritt.

b) Die Wirtschaftlichkeit von Gittersperren als Entleerungssperren ergibt sich gegenüber konventionellen Sperren durch die vermehrte Entleerung (öftere Funktion). Nach den bisherigen Erfahrungen im In- und Ausland wird man im Mittel eine gegenüber konventionellen Sperren 1 3-fach größere Wirksamkeit annehmen können.

c) Nach den bisherigen Erfahrungen sind die Kosten einer Gitterrostsperrre, je nach den herrschenden Bedingungen (insbesondere Spannweite und Gründungsverhältnis) um 50 65 % höher als konventionelle Vollsperren anzunehmen.

d) In einem Vergleich verschiedener Konstruktionsarten hat sich die Gitterrostsperrre mit zweiachsiger Lastabtragung als die bisher wirtschaftlichste erwiesen, wobei sich die besten Resultate in engen und felsigen Profilen erzielen lassen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Nicht nur der Schutz gegen unerwünschte Erosion, sondern auch gegen Sedimentation bedingt technische Maßnahmen der Wildbachverbauung. Bei Hochwasserkatastrophen werden nicht nur Hänge, Gerinne und Wildbachbette unterwühlt, sondern auch Schwemmkegel bis zu mehreren Metern verschüttet, nur zu oft als Folge von Verkläuerungen durch Wildholz und übermäßige Grobgeschiebeführung. Um den Geschieberückhalt selektiver als bisher zu gestalten, hat man in den letzten Jahren Entleerungssperren, Filter-, Balken- und Gittersperren sowie Murenfänger sowohl im In- als auch im Ausland weiter- und zum Teil neu entwickelt. Diese neuen Bestrebungen in Europa werden ausführlich behandelt.

Eine in Zusammenarbeit mit der Österreichisch Alpine-Montangesellschaft neu entwickelte Gitterrostsperrre wurde im Zusammenwirken mit dem praktischen Wildbach- und Lawinenverbauungsdienst an zwei Orten in Kärnten und Salzburg der Erprobung ausgesetzt. Ein Belastungsversuch und dabei durchgeführte Messungen haben wertvolle Aufschlüsse über das tatsächliche Tragverhalten, Lastabtragung in zwei Richtungen auf Bachsohle und beidseitige Hänge ergeben. Mit einer eigens installierten Meßanlage werden die Messungen fortgesetzt, um auch die künftigen tatsächlich auftretenden Beanspruchungen zu messen.

Auf Grund der bisherigen Erfahrungen und Kenntnisse auf dem Gebiete der Staurationverlandung, -spülung und -entleerung werden Gittersperren im allgemeinen und die erwähnte Gitterrostsperrre im besonderen hinsichtlich ihrer funktionellen, konstruktiven und wirtschaftlichen Vorteile ausführlich und an Hand von Vergleichsbeispielen besprochen. Demnach stellt die neu entwickelte Gitterrostsperrre ein Werk mit der bisher größten Entleerungsfunktion und der bisher wirtschaftlichsten Konstruktion dar, die im Stande sein dürfte, das Register der bestehenden Verbauungsmethoden im Kampfe gegen die Naturgewalten in mehrfacher Weise zu ergänzen. Auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse werden auch die Tendenzen für die weiteren Entwicklungen aufgezeigt.

SUMMARY

Not only protection from undesired erosion, out also from sedimentation, requires technical measures of torrent control. In catastrophic floods not only slopes, watercourses and torrent beds, are eroded, but also dejection cones are built up through silting up to several meters, which is very often a consequence of obstruction by driftwood and excessive transport of coarse bedload. In order to shape the retention of bedload in a more selective way than hitherto, there have been developed during last years multiple aperture dams, filtering dams, dams with beams, and grating dams as well a mud-stream retention dams, both in Austria and abroad, partly as improvement of existing constructions and partly as new ones. These recent endeavours in Europe are treated in detail.

A grating dam, newly developed in co-operation with the "Österreichische Alpine-Montangesellschaft" in co-operation with the practical Torrent and Avalanche control Service, was exposed to tests at two localities in Carinthia and Salzburg. A loading test accompanied by measurements has yielded valuable information on the actual bearing behaviour: distributions of load in two directions on the torrent-floor and slopes at either side. By means of a feeder installed ad hoc measurements are being continued and the forces measured which will actually occur in the future.

On the basis of recent experience and knowledge on the field of back-water area silting, flush and emptying, grating dams in general and the above mentioned new construction in particular are discussed in detail as to their functional, constructive and economical advantages, illustrated by comparative examples. As a result, the newly developed grating dam represents, a work with as yet maximum emptying function and optimum economical construction, which may be able to complete in a multiple way the list of existing damming methods in the struggle against the forces of Nature. On the basis of knowledge gained, the tendencies of future development are also pointed out.

R É S U M É

Non seulement la protection contre une érosion indésirable mais aussi contre la sédimentation exige des mesures de régularisation des torrents. Les crues catastrophiques sousminent non seulement les pentes, les rigoles et les lits des torrents, mais encombrant aussi les cônes alluvionnaires jusqu'à plusieurs mètres de hauteur, très souvent en raison de l'obstruction par des déchets de bois et de l'ammoncellement de galets. Pour obtenir une meilleure sélection des galets dans les retenues on a développé, au cours des dernières années, dans le pays même et à l'étranger de nouveaux barrages de dégagement, de filtrage, des barrages à claire-voie et des grillages ainsi que des barrages contre les avalanches de boue. Ces nouveaux efforts en Europe sont traités en détail.

Un nouveau barrage à claire-voie, développé en collaboration avec la société autrichienne Alpine-Montan, a été installé à l'épreuve à deux endroits en Carinthie et en Salzbourg par le service de protection contre les torrents et les avalanches. Une épreuve de la capacité et des mesurages exécutés à cette occasion ont fourni des informations précieuses sur cette capacité: répartition des charges dans deux directions, vers le fond du lit de la rivière et les deux rives. Une installation de mesurages spéciale continue à effectuer les mesurages pour mesurer aussi les exigences futures effectives.

En raison des expériences faites et des connaissances sur le secteur de l'ensablement, du rincage et du vidage de barrages, les barrages à claire-voie en général et les barrages à grillage en particulier sont discutés par rapport à leurs avantages fonctionnels, constructifs et économiques à l'aide d'exemples comparés. Par conséquent le nouveau barrage à claire-voie représente la construction la plus économique avec, jusqu'à présent, la plus grande fonction de vidage, capable de compléter de plusieurs manières le registre des méthodes de régularisation existantes dans la lutte contre les forces de la nature. A l'aide des connaissances gagnées les tendances du développement futur sont démontrées.

Р Е З Ю М Е

Инженерные мероприятия по креплении горных потоков обусловлены не только защитой от нежеланного размыва, но и от отложения наносов. В случае паводковых катастроф происходит не только подмыв берегов, размыв русла и ложа, но и отложение конусов выноса высотой в несколько метров, очень часто вследствие загромождения буреломом и непомерного переноса валунов. С целью более селективного задерживания донных наносов были в нашей стране и за границей в последних годах дальше и отчасти наново развиты опоражнивающие, фильтрующие, бревенчатые и решетчатые заграждения, а также и запруды против селевых потоков. Эти новые тенденции развития в Европе излагаются подробно.

Решетчатое заграждение, наново развитое совместно с Австрийским альпийским горнопромышленным обществом /Альпине Монтангезельшафт/ было опробовано при взаимодействии Службы закрепления горных потоков и защиты от снеговых обвалов в двух местах в Каринтии и Зальцбурге. Пробная нагрузка и проведенные при этом измерения привели к ценным выводам относительно фактического поведения под нагрузкой: снос груза по двум направлениям в русле и на обоих берегах. Измерения продолжаются с помощью специально установленного измерительного устройства с целью получить дальнейшие данные относительно фактически имеющих место нагрузок.

На основе полученных до сих пор результатов, данных по обмелению, размыву и опорожнению бассейна и сопоставимых приме-

ров дается подробная трактовка решетчатых заграждений вообще и вышеупомянутой конструкции в особенности относительно их функциональных, строительных и экономических преимуществ. Судя по этому, новая конструкция решетчатого заграждения имеет самую большую опорожнительную эффективность и экономичность и обещает дополнить во многих отношениях существующий арсенал инженерно-геологических методов защиты от стихийных бедствий. Исходя из накопленного опыта указываются и направленности дальнейшего развития.

- BELLAN, A., 1967: Le barrage de sédimentation de l'One à Luchon. Doc. FO/EFC/T/67/3iii.
- BELLAN et MICHEL, 1960: Calcul et établissement des barrages essentiellement destinés à l'accumulation des matériaux. Document FAO/EFC/TORR. -24/1960.
- BERGTHALER, J., 1967: Ein Beitrag zur Dimensionierung von Schwerk Gewichtssperren. WLW, Jg. 31, Nov.1967, Heft 3, S. 2-12.
1969: Näherungsformeln zur Dimensionierung der Gewichtssperren mit konkaver Luftwand und Berechnung der Zugspannungen. WLW, Jg. 33, Mai 1969, Heft 1, S. 55-69.
- BERNARD, M., 1920: Note sur le calcul des murs de soutènement et des barrages rectilignes. Paris 1920.
- CLAUZEL, L. et PONCET, A., 1963: Barrages filtrants et correction torrentielle par ségrégation des matériaux charriés. RFF, Avril 1963; P. 280 292.
- CLAVE, A., 1967: La lutte contre l'érosion torrentielle au moyen de barrages en éléments préfabriqués à claire voie dans le dépôts fluvio - glaciaires. Document FO:EFC/T/67/3(bii).
- DUHM, J., 1946: Der Flußbau. Technische Handbücher für Baupraktiker. Verlag G. Fromme u. Co, Wien.
- DUJSENOV, E., 1966: Selevyje potoki. Alma Ata.
- GRAC, L., 1964: Correction d'un petit torrent par ouvrages légers. Document FAO/EFC/TORR/63/1.
- GASPAR, R., GOLOGAN, N. et AVRAM, C., 1964: Types économiques de barrages pour la correction des torrents. Document FAO/EFC/TORR. Rom. - 12/1964.
- GAVRILOVIĆ, S., 1968: Poprecne gradevine za regulaciju korita bujicnih vodotoka i neki problemi njihove primene. Izgradnja, God. XXII, Br. 8., August 1968, P. 23-35.
- HAIDEN, A., 1935: Über die Gestaltung und Berechnung von Sperren für die Wildbachverbauung. Wasserwirtschaft und Technik; Heft 1-4.
1935: Bauerfahrungen im Mittelpinzgau. Wasserwirtschaft und Technik; Heft 35-36.
- HAMPEL, R., 1968: Geschiebeablagerung in Wildbächen, dargestellt an Modellversuchen. WLW, Jg. 32, Mai 1968, Heft 1, S. 1-37 und August 1968, Heft 2, S. 71-129.

- 1969: Geschiebewirtschaft in Wildbächen. Die Wasserwirtschaft, Jg. 59, März 1969, Heft 3, S. 64-70.
- HÄRTEL, O., WINTER, P., 1934: Wildbach- und Lawinenverbauung. Band V, "Das forstliche Bauingenieurwesen" Herausgegeben von L. HAUSKA.
- HOFFMANN, L., 1955: Die Bewegung des Geschiebes in Wildbächen. FVZWL; Heft 6/1955, S. 14-29.
- 1955: Geschiebestausperren mit selbsttätiger Entleerung von Feingeschiebe. FVZWL; Heft 6, Juli 1955, S. 49-60.
- 1969: Die Geröllfracht in Wildbächen. WLW, Jg. 33, Heft 1, S. 39-48.
- 1969: Die Gewichtssperre mit geknickter Stirnwand. WLW, Jg. 33, Heft 1, S. 49-54.
- HOFMANN, F., 1969: Verzögerung des Hochwasserabflusses durch Stauräume in der Wildbachverbauung. AFZ, Jg. 80, Folge 7, Juli 1969, S. 159-160.
- KELEN, N., 1926: Die Staumauern; Theorie und wirtschaftlichste Bemessung mit besonderer Berücksichtigung der Eisenbetontalsperren und Beschreibung ausgeführter Bauwerke. J. Springer Verlag, Berlin.
- KERENSKI, St., 1963: Otnosno obrazovaneto na zabarazni nasipi v poroite. Academy of Agricultural Sciences, Bulgaria, Bulletin of the Forestry Institut. KH (VOL) XIII, 1963.
- KETTL, W., 1969: Pongau aktuell: Dossierwerke. AFZ, Jg. 80, Folge 7, Juli 1969, S. 165-166.
- KRONFELLNER-KRAUS, G., 1962: Über die Dimensionierung von Wildbachsperren im allgemeinen und über Einsparungsmöglichkeiten beim Bau der verschiedenen Sperrentypen im besonderen. AFZ, Heft 5/6, S. 57-62, 1962.
- 1966: Biege- und Druckversuche mit Sperrenmauerwerk der Wildbachverbauung. FVZWL, Heft 24, April 1966, S. 2-49.
- 1967: Breaks in check-dams for torrent control and their causes. Document FO:EFC/T/67/3biii.
- 1968: Über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Wildbach- und Lawinenverbauung. FBVA-Informationsdienst in der Allgemeinen Forstzeitung, Folge 117, Dezember 1968.
- LEYS, E., 1965: Beispiele für Wildholzfänge bei Sperrendolen und bei Abflußsektionen. Schlitzdolen und Eisenrechen bei geraden Auslaufsperrern von Geschiebeablagerungsbecken. FVZWL, Heft 23/1965, S. 45-48 und 57-65.

1967: Rechen- und Balkenbauten in der Wildbachverbauung zur Regulierung des Geschiebetriebes. WLV, Jg. 31, Nov. 1967, Heft 3, S. 44-51.

1968: Allgemeines über Schlitz-, Rechen- und Balkensperren in der Wildbachverbauung. AFZ, Jg. 79, Folge 4/1968, S. 80-81.

MAYERHOFER, A., 1969: Über die Gesetzmäßigkeit des Geschiebetriebes. Vortrag, 12. Hydrographentagung am 19. Nov. 1969, Wien.

MONNET, P., 1966: Chronique d'un temps passé à l'usage d'une génération à venir. RFF, No. 7, Juillet 1966, P. 453-466.

MUNTEANU, S. A., 1967: Evolutia conceptiilor si metodelor de dimensionare statica a barajelor masive de greutate folosite in corectarea torentilor din Romania. Revista Padurilor, Nr. 8, August 1967, P. 414-423.

NECULA, F., 1967: Consideratii asupra lucrarilor de corectare a torentilor si de ameliorare a terenurilor degradate din bazinul hidrografic Putna (Vrancea). Revista Padurilor, Nr. 8, August 1967, P. 436-439.

ORTH, F., 1934: Die Verlandung von Staubecken. Die Bautechnik, Jg. 12, Heft 16.

PEDROLI, R., 1963: Trasporto di materiale solido in canali a fondo fisso e liscio. Comunicazione dell' Ufficio federale dell' economia delle aque. No. 43, Bern.

PONCET, A., 1960: Note über die gegenwärtig in Frankreich vorherrschenden Tendenzen bei der Planung und der Durchführung von der Wildbachverbauung dienenden Sperren basierend auf einigen Ergebnissen der Enquete über die Dimensionierung dieser Bauten, sowie einige Erfahrungen der jüngsten Zeit. DOC. FAO/EFC/TORR. - 5. Session, 1960. (Übersetzung).

1966: Lutte contre l'érosion et Défense élastique Applications tactiques contre les torrents ou contre les avalanches. RFF, 1966, P. 40-44.

PRESS, H., 1953: Stauanlagen und Wasserkraftwerke; I. Teil: Talsperren. Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin.

PUGLISI, S., 1968: Resoconto delle esperienze in corso con dispositivi filtranti in alcuni torrenti dell' Appennino. L'Italia Forestale e Montana; Anno XXIII, fasc. n. 6 Novembre-Dicembre 1968. P. 261-273.

- RENEUVE, P., 1955: L'évolution de la technique de correction torrentielle. RFF., 1955, P. 689-693.
- RESCHER, O.J., 1965: Talsperrenstatik. Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg New York.
- ROSIC, S., 1956: Quelques exemples de l'extinction spontanée des torrents. RFF, 1956, P. 515-522.
- SCHAFFERNAK, F., 1950: Grundriß der Flußmorphologie und des Flußbaues. Springer Verlag, Wien.
- SCHINDLER, A., 1889: Die Wildbach- und Flußverbauung nach den Gesetzen der Natur. Zürich.
- SCHOCKLITSCH, A., 1926: Geschiebepbewegung in Flüssen und an Stauwerken. Springer Verlag, Wien - Berlin.
- 1935: Stauraumverlandung und Kolkabwehr. Wien.
- 1950: Handbuch des Wasserbaues. 2. Aufl., Wien.
- SCHREITMÜLLER, OEXLE, 1931: Morphologische Umgestaltung der geschiebeführenden Flüsse. Wasserkraftjahrbuch 1930/31, München.
- SECKENDORF, A.Fr.v., 1884: Verbauung der Wildbäche. Wien.
- SPERLICH, R., 1952: Einfangwerke bei Geschiebestausperren. ÖWW, Heft 7.
- STINY, J., 1917: Versuche über Schwemmkegelbildung. Geol. Rundschau, Bd. VIII., 1917, S. 189-196.
- 1910: Die Muren. Innsbruck.
- STRELE, G., 1950: Grundriß der Wildbachverbauung. 2. Aufl., Wien.
- TÖLKE, F., 1938: Talsperren; Staudämme und Staumauern. Handbuch der Bauingenieure, III. Teil, 9. Band, Zweite Hälfte, Julius Springer - Verlag, Berlin.
- WANG, F., 1901/1903: Grundriß der Wildbachverbauung. Leipzig.
- WEBER, A., 1964: Wildbachverbauung. XIII. Abschnitt im Taschenbuch Landwirtschaftlicher Wasserbau, S. 483 - 528. Herausgeg. v. UHDEN, Stuttgart.
- 1967: Die Zwischenakkumulation von Wildbachgeschiebe in Ablagerungsplätzen, Centralblatt für das gesamte Forstwesen. Jg. 84, Heft 2-6, Juni-Dez. 1967, S. 383-399.
- WIDAUER, F., 1969: Die Hochwasser der Jahre 1965 und 1966 im Oberen Gasteiner- und Großarlal. AFZ, Jg. 80, Folge 7, Juli 1969, S. 153-155.
- ZARBOCH, A. Die Tauschwandbauweise. Manuskript (lt. STRELE, 1950).

Im Literaturverzeichnis verwendete Abkürzungen

AFZ: Allgemeine Forstzeitung, Fromme-Verlag, Wien

CF: Centralblatt für das gesamte Forstwesen

Document FAO/EFC/TORR. (auch FO:EFC/T): Veröffentlichungen der Arbeitsgruppe für Wildbach- und Lawinenverbauung sowie Einzugsgebiets-Regelung (TORR) der Europäischen Forstkommission (EFC) der Food and Agriculture Organisation (FAO) der UNO

FVZWL: Fachliche Vereinszeitschrift der Diplom-Ingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs (bis 1966, intern)

ÖWW: Österreichische Wasserwirtschaft, Springer - Verlag, Wien
New York

RFF: Revue Forestière Française, Nancy

WLV: Wildbach- und Lawinenverbau. Zeitschrift des Vereines der Diplom-Ingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs (ab 1967, intern)

Anschrift des Verfassers:

Dipl.Ing. Gottfried KRONFELLNER - KRAUS
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien