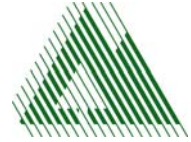




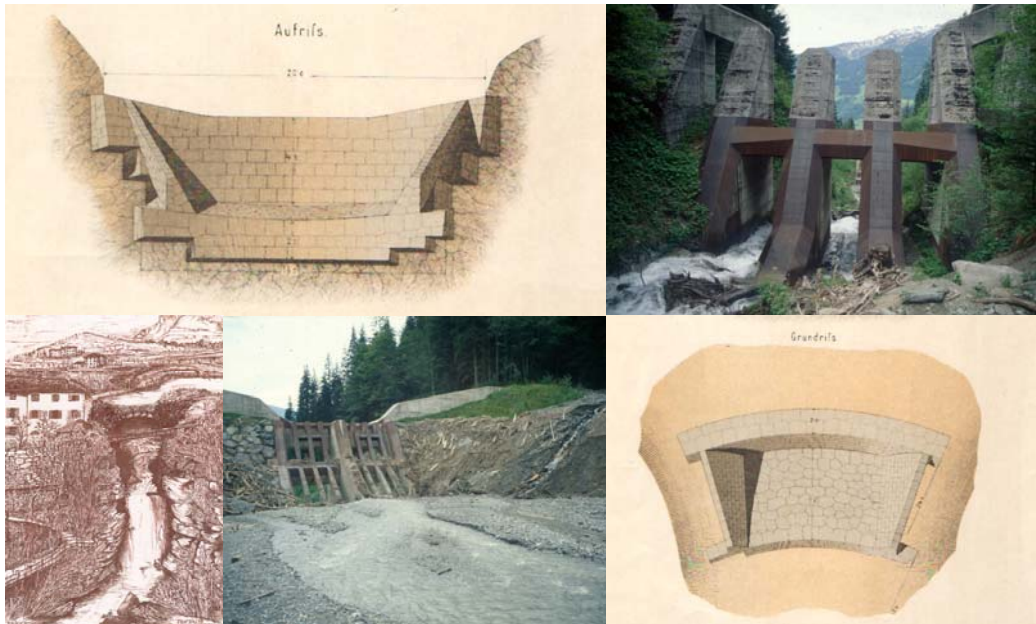
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
und Forstliches Ingenieurwesen



Peter Jordan Str. 82
A-1190 WIEN

Tel.: #43-1-47654-4350
Fax: #43-1-47654-4390

WLS REPORT 50 / Band 1



Im Auftrag:

**Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt
und Wasserwirtschaft, Sektion VC7a**

Wien, Oktober 2003

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	2
2	VERSCHIEDENE KONZEPTE IM WANDEL DER ZEIT – VOM GESCHIEBERÜCKHALT ZUR GESCHIEBEBEWIRTSCHAFTUNG	7
3	DEFINITIONEN UND KLASSIFIKATIONEN – VON EINER STATISCHEN ZU EINER DYNAMISCHEN BETRACHTUNGSWEISE	19
4	FUNKTIONSGRUPPEN – DEREN ZIELVORSTELLUNGEN UND KONSTRUKTIVE GEGENSTÜCKE	20
4.1	Brechen von Muren	21
4.2	Sortieren von Geschiebe und Wildholz	24
4.2.1	Sortieren von Geschiebe.....	24
4.2.2	Sortieren von Wildholz	28
4.3	Dosieren von Wasser und Geschiebe.....	30
4.3.1	Dosieren von Wasser.....	30
4.3.2	Dosieren von Geschiebe.....	31
5	MODELLVERSUCHE – BISHERIGE ERGEBNISSE UND ANFORDERUNGEN AN DIE ZUKUNFT.....	34
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	37
7	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	41

1 EINLEITUNG

Nach HAMPEL (1990) sind die Schwemmkegel unserer Wildbäche „[...] dadurch entstanden, dass das vorhandene Gerinne nicht imstande war, das Geschiebe von Hochwässern abzuführen. Die Aufgabe der Wildbachverbauung besteht in diesen Fällen darin, die Geschiebeführung so stark zu drosseln, dass die Überschotterung [sic] oder Vermurung des Schwemmkegels unterbunden wird. Sowohl aus wirtschaftlichen Überlegungen als auch zur Erhaltung des natürlichen Gleichgewichtes soll zumeist möglichst viel Geschiebe in den Vorfluter abgeführt werden.“

Seit der verstärkten Besiedelung der Schwemmkegel der Wildbäche versuchen sich die Menschen vor den durch Hochwasserereignisse drohenden Gefahren zu schützen. Die ersten dokumentierten Maßnahmen zum Schutz vor Wildbachgefahren in den Alpen datieren 500 Jahre zurück. Ursprünglich wurde versucht durch bauliche Maßnahmen (vor allem Dämme & Schutzmauern) die Überflutungen an den Unterläufen und auf den Schwemmkegeln zu unterbinden (*Abbildung 1*). Bald jedoch wurden erste Wildbachsperrerrichtet. Als Beispiel eines der ersten - und heute noch bestehenden - Bauwerke mag die „Pont' alto“-Sperrre bei Trient dienen (*Abbildung 2*).

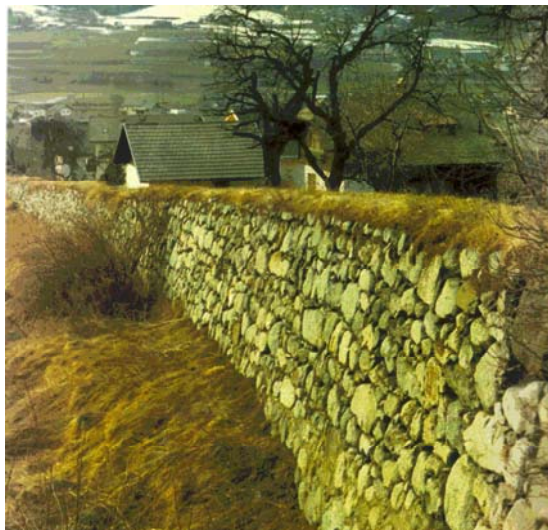


Abbildung 1: Ufermauern zum Schutz der Stadt Schwaz (STRITZL, 1984)

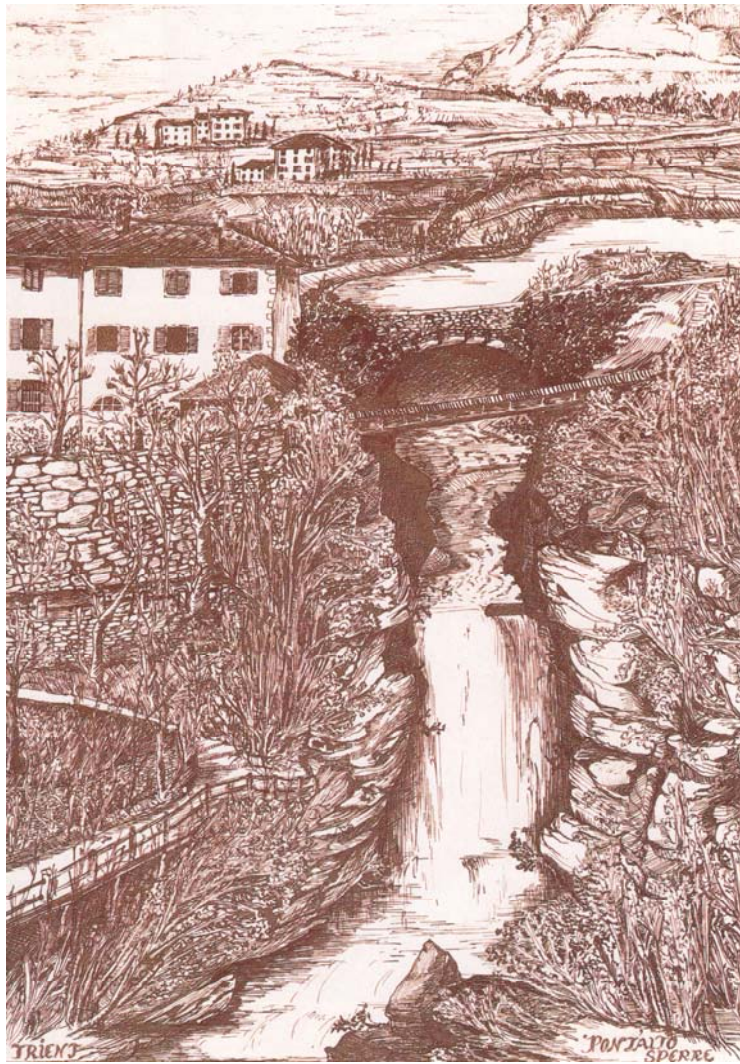


Abbildung 2: „Pont' Alto“-Sperre bei Trient (STRITZL, 1984)

Bis Ende der 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts stand zur Abwehr dieser Gefahren der Rückhalt des im Hochwasserereignis anfallenden Geschiebes mittels großer Geschiebestausperren („*Thalsperren*“) im Vordergrund (*Abbildung 3*), die zumeist am Schwemmkegelhals errichtet wurden. Dabei mussten beträchtliche Eingriffe in die natürlichen Bachverhältnisse in Kauf genommen werden, da Stausperren diskontinuierlich und ohne Beziehung zwischen Verlandungsvorgang und Wasserführung in die Massen-Energiebilanz eingreifen (verändert, nach ÜBLAGGER, 1973). Die Folge waren ausschließlich negative Effekte, da es durch den Energieüberschuss zu den mittlerweile bekannten Erosionsfolgen im Unterlauf kam. Nicht zuletzt deshalb begann man verstärkt Dolen in die Geschiebestausperren einzubauen, um wenigstens einen Teil des anfallenden Geschiebes, das vom Unterlauf transportiert werden kann, durchschleusen zu können, um dem Problem der Sohleintiefung zu begegnen.

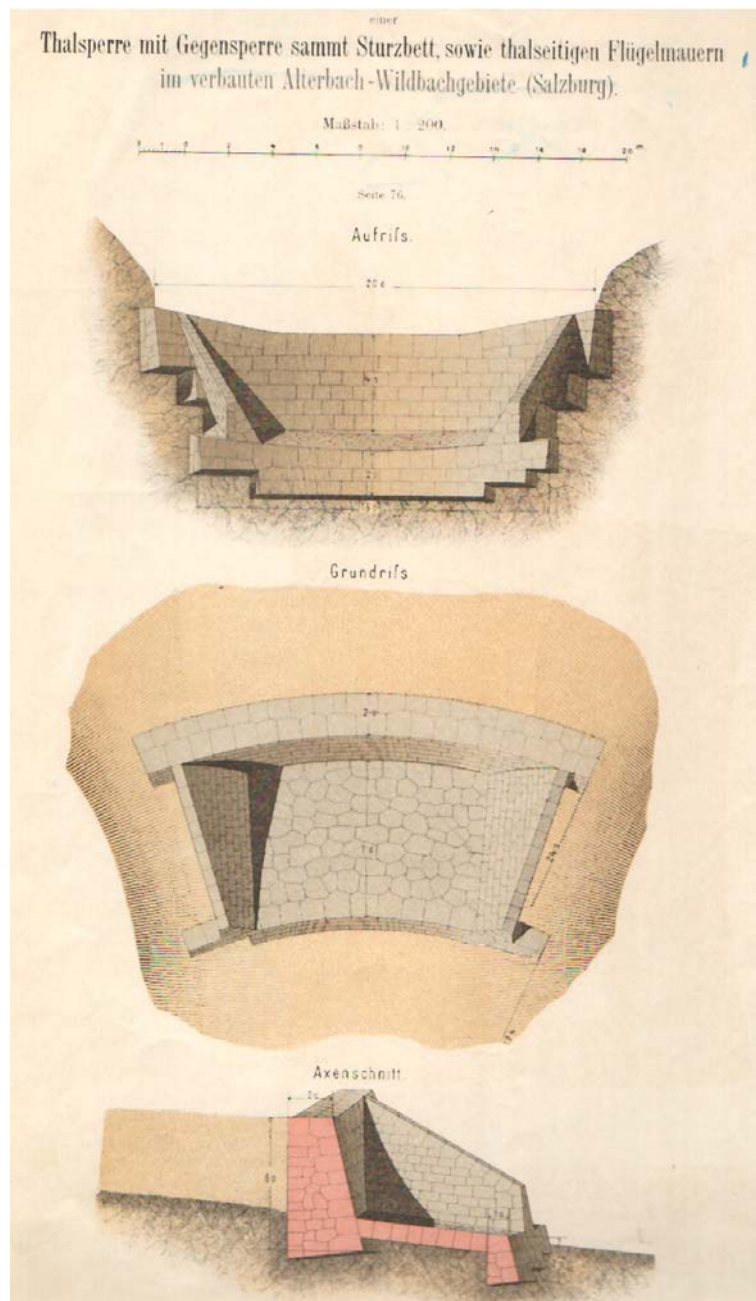


Abbildung 3: „Thalsperre“ am Alterbach (MARESCH, 1894)

Mit dem Beginn der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts ging man im Forsttechnischen Dienst, nicht zuletzt durch die Arbeiten von ÜBLAGGER (1973), zum Konzept der Geschiebezweischichtlagerung über. Dies deshalb, da die Zwischenlagerung des beim Hochwasserereignis anfallenden Geschiebes vorwiegend ausgleichenden Einfluss auf die Massen-Energiebilanz eines Gewässersystems hat. Der Massenüberschuss in der Hochwassersituation wird zwischengelagert und zu den Zeiten dazwischen an das Unterwasser abgegeben (verändert, nach ÜBLAGGER, 1973).

Um diesem Konzept der Geschiebezwischenlagerung und Abtransport des Geschiebes bei Mittelwässern gerecht zu werden, wurde begonnen, die vorhandenen Dolen zu vergrößern. Schließlich wurden Sperren von der Bachsohle bis zur Abflusssektion mit Schlitzten versehen. Während in den Anfängen nur schmale Schlitzte, die durch das ständige Vergrößern von Dolen entstanden, zum Einsatz kamen, wurden die Schlitzte alsbald vergrößert und mit horizontalen Rechen versehen. So entstanden schließlich die verschiedensten Bautypen, wie zum Beispiel die Balkensperren (STAUDER, 1972), die Gittersperren, die Rechensperren, unter vielen anderen. Die einzelnen Bauwerke werden betreffend ihrer Funktion in *Kapitel 4* genauer behandelt, in *Band 2* wird im Rahmen der Diskussion historischer Wildbachsperrenklassifikationen auf die damals aufkommende Typologie eingegangen. Der hier verwendete Terminus „Bautype“ ist nicht mit der Wildbachsperrenklassifikation, die im Rahmen dieses Projektes entwickelt wurde zu verwechseln. Vielmehr wird er hier zur Beschreibung von in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelten Bauwerken im Einklang mit der Originalliteratur angewendet.

Schon zu dieser Zeit prägte ÜBLAGGER (1973) die Funktionsbegriffe des „Sortierens“, des „Dosierens“ und des „Retendierens“. Diese grundsätzlichen Arbeiten ÜBLAGGERS (1973) auf dem damals noch jungen Gebiet der Geschiebebewirtschaftung wurden von KETTL (1973) weiter vorangetrieben. Durch KETTL (1973) wurden die den jeweiligen Funktionen entsprechenden Zielvorstellungen definiert und in weiterer Folge begann man, optimierte Bautypen zu entwickeln. Die Vielfalt an Bautypen gehen nicht zuletzt darauf zurück. Durch diesen sofortigen Einsatz neuer Bautypen in Wildbächen konnte Österreich, dabei vor allem der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, in den letzten 30 Jahren sehr viel Erfahrung sammeln. Sukzessive wurde dabei das vorhandene Bautypendenken durch ein Funktionsdenken ersetzt, das schließlich in dem von KETTL (1984) geprägten Begriff der „*Funktionskette*“ seinen Niederschlag fand.

Aus heutiger Sicht stellen die Arbeiten von ÜBLAGGER (1973) und KETTL (1973, 1984) eine enorme Weiterentwicklung vom Konzept des Geschieberückhaltes zum Konzept der Geschiebebewirtschaftung dar. Eine konsequente Umsetzung dieses bereits vielfach - bei Hochwasserereignissen auch in der Praxis - erprobten Konzeptes gilt seit dem Ende der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts im

Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung als Stand der Technik auf dem Gebiet der Geschiebebewirtschaftung.

Es muss an dieser Stelle jedoch festgehalten werden, dass ein unkontrolliertes Übertragen von Sperrtypen und Sonderbauwerken nicht möglich ist. Jede Bautype ist das Ergebnis der Analyse eines speziellen Einzugsgebietes und der sich darin entwickelten Wechselbeziehungen und der Geschiebedynamik (FIEBIGER, 1984). Die großdolige und die kronenoffene Bauweise zwingt den Projektanten daher, den Bachcharakter mit Wasser- und Geschiebeführung sowie die Verhältnisse im Vorfluter vermehrt zu studieren (verändert, nach LEYS, 1971b). Der von LEYS (1976) geprägte Grundsatz der Wildbachverbauung: „*Arbeite mit der Natur und nicht gegen sie!*“ behält unter diesem Aspekt weitere Gültigkeit.

Durch die Vielzahl an Bautypen, die in den einzelnen Sektionen des Forsttechnischen Dienstes seit dem Beginn der 70er Jahre neu entwickelt und basierend auf den Erfahrungswerten mit diesen Bauwerken nach Hochwasser- oder Murereignissen konsequent weiterentwickelt wurden, bestehen sehr viele persönliche Erfahrungen der Projektanten – Erfahrungen zum einen auf dem Gebiet der optimalen Anwendung der einzelnen Bautypen in der Funktionskette, aber zum anderen auch hinsichtlich der Dimensionierung dieser Bauwerke. HAMPEL (1977a, 1977b) stellte dazu bereits fest, dass bei aufmerksamer Verfolgung der Projektierung von Wildbachverbauungen über Jahrzehnte auffällt, dass bei ähnlichen örtlichen Verhältnissen nicht nur regionale Unterschiede bestehen, sondern dass auch in demselben Gebiet der Umfang der Verbauungen und die Dimensionierung der Bauten mit der Entfernung von der letzten Hochwasserkatastrophe abnimmt und nach der Nächsten rapid ansteigt.

Die angesprochenen Erfahrungen mit der Funktionsfähigkeit von kronenoffenen Bauwerken bzw. den diversen Bauwerken einer modernen Geschiebebewirtschaftung wurden in der Vergangenheit, vor allem aber seit Ende der 80er Jahre, nur spärlich publiziert. Eine konsequente Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Geschiebebewirtschaftung hinsichtlich der Anwendbarkeit bzw. der Vor- und Nachteile von bestimmten Bautypen ist daher nur sehr schwer möglich. Ebenso fehlen nachvollziehbare Dimensionierungsgrundlagen, die allgemeine Gültigkeit besitzen und auf die verschiedensten Bautypen angewandt werden können.

2 VERSCHIEDENE KONZEPTE IM WANDEL DER ZEIT – VOM GESCHIEBERÜCKHALT ZUR GESCHIEBEBEWIRTSCHAFTUNG

Bis in die Mitte der 60er Jahre des vorigen Jahrhunderts wurden zur Sicherung der Siedlungen auf den Schwemmkegeln ausschließlich Sperren, die vor allem am Schwemmkegelhals situiert waren, errichtet, um das bei einem Mur- bzw. Hochwasserereignis anfallende Geschiebe vollständig zurückzuhalten. Diese klassische Form der Wildbachsperre, von KRONFELLNER-KRAUS (1970) auch als „*konventionelle Sperre*“ – dazu gehören Konsolidierungs- und Geschiebestausperren (*Abbildung 4* und *Abbildung 5*) – bezeichnet, war nur mit einzelnen, kleineren, über den gesamten Sperrenquerschnitt verteilten Dolen versehen, die vor allem dazu dienten, den Wasserdruck hinter der Sperre zu verringern. Es waren also zunächst nur statische Gründe, die auf die Entleerungsfunktion, wenngleich auch vorerst nur von Wasser, aufmerksam machten (verändert, nach KRONFELLNER-KRAUS, 1970).



Abbildung 4: Konsolidierungssperre am Rettenbach in Tirol (Foto: Holub)



Abbildung 5: Klassische Geschiebestausperre am Fischbach im Ötztal (Foto: WLS-Archiv)

„Durch diese Geschiebestausperren mit Kleindolen [sic] werden [...]“ nach GSCHWENDTNER et al. (1970) „[...] jedes Jahr tausende Kubikmeter Groß- und Kleingeschiebe sowie Schlamm zurückgehalten. Eine natürliche Abtrift von Kleingeschiebe und Schlamm zur Freihaltung des Stauraumes wird durch die geschlossene Wand mit Kleindolen verhindert oder zumindest beeinträchtigt. Durch das Fehlen von Geschiebe wird in der Folgebachstrecke [sic] das ursprüngliche Sohlgleichgewicht im Wildbach selbst und im Vorfluter so gestört, daß Bachbetteintiefungen mit Unterwaschungen der Ufer, also Sekundärerrosion, die Folge sein können.“ Bereits HOFFMANN (1955) schreibt, das der „[...] Geschieberückhalt der Stausperren [...] unbefriedigend [...]“ ist, „[...] da ein Großteil des Verlandungsraum dem eigentlichen Zweck des Rückhalts von Grobgeschiebe durch Anlandung von Feingeschiebe und Schlamm verloren geht.“

Durch die negativen Erfahrungen mit Geschiebestaubauwerken gab es Bestrebungen vom Rückhalt des Gesamtgeschiebes auf beschränkte Zeit zu einer Geschiebebewirtschaftung mit Langzeitwirkung überzugehen, bei der durch neue Sperrentypen vor allem das sogenannte „Schadgeschiebe“ gestaut werden sollte, wogegen das schadlose „Wandergeschiebe“ weiter abtriften kann (AULITZKY, 1985).

Es wurde daher in der Wildbach- und Lawinenverbauung begonnen, nach einer Lösung zu suchen, die es ermöglichen sollte, das vom Unterlauf auf Grund der vorhandenen Schleppkraft gerade noch transportierbare Geschiebe bei Mittelwässern durch die Sperre schleusen zu können. Gleichzeitig wollte man eine Sperrentype schaffen, die einen möglichst geringen Eingriff in die gegebenen

Wildbachverhältnisse zur Folge hat und den Geschiebetrieb nicht unterbindet (verändert, nach FIEBIGER, 1984). Bereits HOFFMANN (1955) hatte diesbezüglich erkannt, dass dies nur dann möglich ist, wenn die Sperren eine Ausflussöffnung erhalten, die von der Abflussektion bis zur Bachsohle reicht. Diese Abflussöffnung ist so zu bemessen, dass die Mittelwässer durchgehen können, das Hochwasser jedoch gestaut wird.

Gleichzeitig erhielt die Wildbach- und Lawinenverbauung zu Beginn der 70er Jahre den Auftrag der Tauernkraftwerke (TKW), die mit der Errichtung der Zemmkraftwerke im Zillertal begannen, geeignete Bautypen zu entwickeln, die den Einstoß von Wildholz und Grobgeschiebe aus den stark geschiebeführenden Seitenbächen in die Vorfluter verhindern und nur den normalen Geschiebetrieb ermöglichen sollten. Das Ziel war die Schaffung einer Sperrtype, die einen möglichst geringen Eingriff in die gegebenen Bachverhältnisse zur Folge hat und daher den normalen, fallweise auch stärkeren Geschiebetrieb nicht unterbindet und nur im Katastrophenfall als Stausperre wirkt (STAUDER, 1972).

An diese Entleerungssperren, wie sie zu dieser Zeit bezeichnet wurden, stellte man die nachfolgend aufgelisteten Anforderungen (GSCHWENDTNER et al., 1970; LEYS, 1971b; LEYS, 1976). Man erwartete, dass

- das Sperrgeschiebe und das Wildholz zurückgehalten werden.
- mit dem Wandergeschiebe ein tragbarer Geschiebetrieb für die weitere Bachstrecke und für den Vorfluter geschaffen wird.
- der Verlandungsraum stets aufnahmebereit zur Verfügung steht und dadurch vorbeugend im Fall von Hochwässern oder Muren wirkt.
- ein Geschiebeabbau in der eigenen Verlandung des Querwerkes bei geschiebeloser Wasserführung erfolgen kann.
- Katastrophenhochwässer und Murgänge abfangen, gestaut und wieder schadlos abgeführt werden können.
- der Stauraum günstig entwässert wird.

- durch Fehlen von Schlamm und Staunässe eine günstige Räummöglichkeit für Großgeräte geschaffen wird.
- die Sperrenöffnung bei Einbau von Balken und Rechen größer gewählt werden kann als bei Schlitzten.
- die kronenoffene Bauweise eine Ergänzung zur bisherigen geschlossenen Bauweise darstellt und günstige technische Lösungen mit vielen Variationsmöglichkeiten bietet.
- durch einen sohlenoffenen konstanten Wasserfluss in Fischwässern die Fische ungehindert ziehen können und dadurch ihr Lebensraum nicht beeinträchtigt wird.

STAUDER (1972) entwickelte auf Grund dieser Vorgaben und im Hinblick auf den Auftrag der TKW eine neue Wildbachsperrentype, die sogenannte Balkensperre, die durch eine breite, von der Bachsohle bis an die Abflusssektion reichende Öffnung, die durch horizontal angeordnete Balken aus Stahlprofilen in gleichbleibendem Abstand unterbrochen wird, charakterisiert wird. Die ersten derartigen Sperren wurden im Märzenbach (*Abbildung 6*), im Riedbach, im Finsingbach und im Niklasbach errichtet und wiesen bereits leichte konstruktive Unterschiede, hervorgerufen durch die unterschiedlichen Bachdynamiken, auf. Im Riedbach wurde zudem erstmals das Konzept mit mehreren, hintereinander geschalteten Balkensperren mit von oben nach unten abnehmenden Balkenabständen konsequent verwirklicht.



Abbildung 6: Sortiersperre im Märzenbach im Zillertal (Foto: WLS-Archiv)

Aus den Erfahrungen STAUDERS (1972) mit den errichteten Balkensperren zeigten sich zwei wesentliche Vorteile gegenüber den früher verwendeten Stausperren. Zum Einen bleibt der geschaffene Stauraum für das große Katastrophenereignis frei und wird nicht durch die kleinen, häufigen und vor allem schadlosen Geschiebeführungen verlegt. Und zum Anderen ist die Räumung des Stauraumes nach einem großen Ereignis ungleich wirtschaftlicher als bisher möglich, da man sich hierbei der Schleppekraft des Wassers bedienen kann und nur ein kleiner Prozentsatz des Verlandungsraumes künstlich geräumt werden muss.

Der erhoffte Sortierungseffekt des Geschiebes war beim Katastrophenereignis aber nicht eingetreten, da sich der gesamte Stauraum schlagartig füllte und später – unter der Voraussetzung einer entsprechenden Wasserführung – nur teilweise geleert hatte.

Begegnete man bisher der Gefahr von Vermurungen nahezu ausschließlich mit der wahllosen Geschiebebindung durch Stauwerke, so wird mit den, ab den Anfängen der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts entwickelten, neuen Querwerksbautypen versucht, den Geschiebeabfluss zeitlich und Korngrößenmäßig so zu beeinflussen, dass die schädlichen Spitzenwerte ausgeschaltet werden. Alle Bemühungen zielen also darauf hin, in das normale Geschehen nur noch im unbedingt notwendigen Ausmaß einzugreifen (ZEDLACHER et al., 1979).

Sehr bald stellte sich jedoch heraus, dass das Problem des Wildholzes nach wie vor nicht gelöst werden konnte, denn erfahrungsgemäß werden die einfachen Balkensperren bereits während des ersten Hochwassers durch mitgeführtes Wildholz verklaut (verändert, nach HOFFMANN, 1976). Durch die Verklautung der Sperrenöffnungen wird die Wirkung einer Entleerungssperre auf die einer Konsolidierungssperre reduziert (GSCHWENDTNER et al., 1970).

Der Glaube an die unbegrenzte „Machbarkeit“ in der Wildbachverbauung kommt regelmäßig spätestens dann in eine Krise, wenn Mur- und Wasserkatastrophen im schlimmsten Fall mit ernststen Schäden für die Bewohner, trotz des Vorhandenseins von Verbauungen eintreten. Unter Machbarkeit versteht man in der Wildbachverbauung alle möglichen Maßnahmen, die imstande sind, unter Beachtung der von der Natur vorgegebenen Zustände, dem menschlichen Siedlungs- und Kulturraum Schutz zu geben. Die Grenzen der Machbarkeit in Wildbächen werden überschritten, wenn durch Verbauungsmaßnahmen negative

Auswirkungen für den Gleichgewichtszustand des Bachregimes bzw. für die Bachökologie eintreten (LEYS, 1980).

Durch die Entwicklung der Balkensperren und der Schlitzsperrn, als Folge der weiteren Vergrößerung von Dolen, stellten sich erste Erfolge in der, wenn auch damals noch sehr jungen Konzeption der Geschiebebewirtschaftung ein. Der normale Geschiebetrieb konnte unter günstigen Verhältnissen aufrechterhalten und das beim Hochwasserereignis anfallende Geschiebe zurückgehalten werden. Nichtsdestotrotz brachten viele Rückschläge, bedingt durch die mangelhafte Funktionsfähigkeit der Sperren im Ereignisfall und die Tatsache, dass die Wildholzproblematik noch nicht zufriedenstellend gelöst war, die Projektanten immer wieder dazu, neue Bautypen zu entwickeln und testen.

Um die „Experimentierfreudigkeit“ innerhalb des Forsttechnischen Dienstes in dieser Zeit des Umbruches – vom Geschieberückhalt zur Geschiebebewirtschaftung – zu dokumentieren, seien an dieser Stelle, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, weitere damals entwickelte und in der Praxis auf ihre Tauglichkeit getestete Sperrentypen angeführt: Konsolidierungssperren mit vergrößerten Dolen in jeglicher Form, Rostsperrn, Siebsperrn, Pfeilersperren, Pfeilerreihensperren, Strebepfeilersperren, Netzsperrn, Gitter- und Gitterrostsperrn, Rechensperren, usw. (LEYS, 1965c; LEYS, 1967; HAMPEL, 1968a; HAMPEL, 1968b; GSCHWENDTNER et al., 1970; KRONFELLNER-KRAUS, 1970; ZEDLACHER et al., 1979). Die hier verwendeten Bezeichnungen für die Vielzahl an neuen Bauwerken stellen Begriffe aus der Originalliteratur dar, welche in Band 2 – Klassifikation von Wildbachsperrn – genauer behandelt und in ihrem Zusammenhang zur neuen – im Rahmen dieses Projekts vorgeschlagenen – Wildbachsperrnklassifikation diskutiert werden.

Die Entwicklung von Sperrentypen, die einen möglichst geringen Eingriff in die gegebenen Bachverhältnisse zur Folge haben und daher den natürlichen Geschiebetrieb nicht unterbinden, sondern nur im Katastrophenfall das Grobgeschiebe und das Wildholz zurückhalten sollen, wurde maßgeblich durch die mit Beginn der 70er Jahre entstandene Diskussion über die Einführung von Gefahrenzonenplänen vorangetrieben (RICCABONA, 1988). Dies deshalb, da man sich in dieser Zeit der Erarbeitung von Grundlagen für die Gefahrenzonenplanung sehr intensiv mit der Dynamik der Bachentwicklung beschäftigen musste. Aber auch die Tatsache, dass natürliche Geschiebeauffangräume fehlten und die

Aufnahmekapazität der älteren Unterlaufregulierungen teilweise zu gering war, spielten bei der Entwicklung neuer Sperrtypen eine wesentliche Rolle (verändert, nach BITTERLICH, 1998).

Die weitere Entwicklung von Bautypen, die allen Anforderungen einer modernen Geschiebebewirtschaftung gerecht werden, wurde durch die Arbeit „Retendieren, Dosieren und Sortieren“ von ÜBLAGGER (1973) verstärkt vorangetrieben. Es kam zu einer Abkehr von der bisher herrschenden statischen Betrachtungsweise hin zu einer dynamischen. Entscheidend ist, dass damit nun exakte Zielvorstellungen präzisiert wurden, die die entsprechenden Bautypen zu erfüllen haben.

Da diese Arbeit richtungsweisend für den Wandel vom Konzept des Geschieberückhaltes hin zum Konzept der Geschiebebewirtschaftung ist, werden die Unterschiede der alten, statischen und der neuen, dynamischen Betrachtungsweise nachfolgend aus ÜBLAGGER (1973) zitiert:

ALTE BETRACHTUNGSWEISE	NEUE BETRACHTUNGSWEISE
Betrachtungsweise:	
Momentaufnahme – statisch	Entwicklung – dynamisch
Verbauungsgrundgedanke:	
Gewässermorphologische Gegebenheiten; Massen- oder Energiebilanz	Gesamtbetrachtung Gewässer, Tal und menschliche Einflüsse; Massen- und Energiebilanz
Funktion:	
Kurve steigt rasch an und sinkt ebenso rasch zu geringer Restfunktion ab (Ausnahme: Entleerungssperren)	Mehrere Funktionen sind gleichmäßig oder unter Hervorhebung einzelner vertreten. Die Bezeichnung richtet sich nach dem Gewicht der Hauptfunktion.
Meist einmalig; Kurzfristig	Meist mehrmalig; Nachhaltig
Bauweisen:	
Steinmauerwerk, Beton	Stahlbeton, Stahl
Schergewichtsmauern, Gewölbemauern	Aufgelöste Bauweise: Platten, Träger, Winkelstützmauern

Terminologie:

1. Konsolidierungssperren

Hebung eines Teiles der oberliegenden Gewässersohle. Abstützung der Rutschungs- und Nachböschungflächen.

2. Geschiebestausperren

Unsortierte Ablagerungen des Geschiebes bis zum Verlandungszustand durch Niederführung des Energiehorizontes in die Nähe des Stauspiegels.

3. Sog. Zwischenakkumulation

Schotterfänge

Reduktion des Energiehorizontes bis zur Ablagerung des Geschiebes durch Bettverbreiterung, Räumung des Geschiebes aus dem Gewässersystem (Ausdruck Zwischenakkumulation systembezogen irreführend)

4. Entleerungssperren

Reduktion der Energiehöhe bis zur Ablagerung des Geschiebes durch Verminderung des Spiegelgefälles bei Hochwasser. Durch Energieüberschuß bei Nieder- und Mittelwässern. Geräumtes Geschiebe verbleibt innerhalb des Gewässersystems. Anlandung und Abtrift von Geschiebe unkontrolliert und ohne Beziehung zur Energiebilanz.

1. Sohlsperrren

Während des Verlandungsvorganges wirken auch diese Sperren durch die Dolen dämpfend auf die Hochwasserwelle und als Geschiebeablagerungsanlage. Erhöhter Energieumsatz im Unterwasser.

2. Geschiebeablagerung

2.1. Geschiebestausperren

Nur mehr dort anwendbar, wo kein Geschiebe in das Unterwasser gelangen darf und eine Räumung nicht möglich ist.

2.2. Geschiebeablagerungsplätze

Räumung des abgelagerten Geschiebes aus dem Bereich des Gewässersystems.

Gemeinsam: Abgelagertes Geschiebe ist der Massenbilanz des Gewässers auf Dauer entzogen. Praktische Formen: Geschiebeablagerungsplätze (Schotterhöfe, Schotterfänge, usw.) reduzieren vorwiegend die Wassertiefe und damit die Schleppspannung, Geschiebestausperren (2.1) und räumbare Geschiebestausperren (2.2) vermindern vorwiegend das Spiegelgefälle.

3. Geschiebezwischenlagerung

3.1. Dosiersperren

Möglichst ungehinderter Durchgang der bettbildenden Mittelwässer. Reduktion der Massen bei Hochwassersituationen. Abtrift des zwischengelagerten Geschiebes bei ablaufendem Hochwasser und bei Mittelwasser (dosiert) abgestimmt auf die Energiebilanz des Gewässers.

Theoretische Vorsorge für die Abgabe aller Korngrößen. Murbremse

3.2. Sortiersperren

Funktion ähnlich wie Dosiersperren, aber mit Komponente Geschiebestausperre (2.1). Möglichkeit, Korngrößen, deren Bewältigung im Unterwasser nicht gewährleistet ist, zur dauernden Ablagerung zu bringen.

Anpassung des Geschiebehaushaltes an die Energiebilanz.

4. Wasserretention (Retentionssperren)

Unter möglichst geringer Beeinflussung jener Wassermengen, die vom unterliegenden Gewässer noch unschädlich abgeführt werden können, soll die Hochwasserwelle oberhalb des Unterlauf-Schwellenwertes möglichst intensiv gedämpft werden. Vor allem die Steuerung des Voreilens der Flutwelle kann auch durch kleine Retentionsbecken erfolgen. Entscheidend ist somit nicht nur wie bisher die Menge des zurückgehaltenen Wassers, sondern auch der Ort und der Zeitpunkt, an dem die Retention stattfindet.

Anpassung des Energiehaushaltes an die Massenbilanz.

Basis für die Überlegungen von ÜBLAGGER (1973) und in weiterer Folge von KETTL (1973) zur Weiterentwicklung von Wildbachsperren zum Konzept der Geschiebemanagement war die „[...] Erkenntnis, daß nur ein Bruchteil des von den Bächen transportierten Geschiebes von der Vorflut nicht bewältigt werden kann. Dieser an sich unbedeutende Anteil an der Gesamtgeschiebefracht ist jedoch Ursache und Kristallisationskern der meisten von unseren von Gebirgswildbächen verursachten Katastrophen.“ (FIEBIGER, 1984).

„Die den meisten älteren Sperrentypen zuordbaren Funktionen beschränkten sich auf konsolidieren und retendieren. Die großen Stausperren verfüllten sich durch die normale Geschiebefracht oder beim ersten größeren oder mittleren Ereignis und damit war ihre Funktion erfüllt. Der ihnen im Katastrophenfall zugeordneten Funktion konnten sie nicht mehr gerecht werden und eine Bewirtschaftung des Geschiebehaushaltes war nicht möglich.“ Aus diesem Grund begann man mit einer „[...] funktions- und wildbachindividuellorientierten Bauweise [...]“ (FIEBIGER, 1984).

Die Vorteile der einzelnen, nunmehr entwickelten und hochwassererprobten Bautypen liegen darin, dass die jeweilige Funktion den Anforderungen entsprechend angepasst werden kann. Durch diese Bauweise wird eine vertikale funktionelle Gliederung und die Abstimmung sich gegenseitig unterstützender Anlagen in einem Gesamtsystem erleichtert (verändert, nach ÜBLAGGER, 1973). Damit kann der Forderung von LEYS (1971a), dass sich die Verbauung den Eigenheiten des Wildbaches – „Jeder Wildbach ist ein Individuum mit spezifischen Eigenschaften und Verhaltensweisen.“ (KETTL, 1994) – anzupassen hat, bestmöglich entsprochen werden. Die ersten Sortier- und Dosieranlagen wurden im Kehlbach und in der

Gasteiner Ache, beide in der Sektion Salzburg des Forsttechnischen Dienstes, bereits Mitte der 60er Jahre errichtet.

Der Dynamik der Bachentwicklung steht somit die ebenfalls dynamische Wirkung der Verbauung gegenüber, die ihrerseits der Eigenart des Gewässers möglichst präzise angepasst werden soll. Dieses Funktionsdenken bedarf somit einer hinreichend genauen Analyse eines möglichen Katastrophenablaufes und damit eines Beurteilens aller diesen Abfluss beeinflussenden Faktoren (KETTL, 1984), denn nur durch eine auf die Individualität des Wildbaches abgestimmte Kombination der verschiedensten Bauwerke und ihrer Funktion (Verbauungssystem) kann die höchstmögliche Sicherheit gewährleistet werden (GOTTHALMSEDER, 1998). Das Optimum der Entwicklung eines Verbauungskonzeptes ist dann gegeben, wenn es spiegelbildlich der Entwicklung des Gefahrenpotentials folgt (KETTL, 1998).

Um eine der Dynamik des jeweiligen Wildbaches optimal angepasste Bewirtschaftung des Geschiebes durchführen zu können, wurden von KETTL (1973, 1984) und FIEBIGER (1984) die entsprechenden Zielfunktionen von Wildbachsperrern formuliert. Die Bezeichnung der jeweiligen Sperre orientiert sich dabei an der entsprechenden Zielfunktion.

- Brechen von Muren:

„Niederführen des hohen (dynamischen!) Energiehorizontes von Muren auf ein niedrigeres Niveau durch teilweise Energieumwandlung [..]“ (FIEBIGER, 1984) „[...] mit dem Ziel einer wesentlichen Verringerung der dynamischen Beanspruchung der unterhalb liegenden Bachstatt und von Bauwerken bzw. der Ablagerung von Muren an hierfür geeigneten Örtlichkeiten.“ (KETTL, 1984)

- Sortieren

- Sortieren von Geschiebe

„Ausfiltern und Ablagern schadbringenden Grobgeschiebes während eines Hochwasserereignisses, aber kein Deponieren des ungefährlichen Geschiebekornes.“ (KETTL, 1984)

- Sortieren von Holz

„Ausfiltern und / oder Abfangen unerwünschten Unholzes während eines Hochwasserereignisses und dadurch Ausschaltung der Verklausungsgefahr in bachabwärtigen Bereichen.“ (FIEBIGER, 1984)

- Dosieren
 - Dosieren von Wasser

„Quantitatives Ändern der Wasserabflußspende durch qualitative Änderung der Abflußganglinie an einer bestimmten Stelle. Im Idealfall temporärer Rückstau der gesamten Hochwasserganglinie mit Reduktion des in die unterliegende Strecke abzugebenden HQ (Anm.: Hochwasser) auf ein unschädliches Maß. [...]“ (KETTL, 1984)
 - Dosieren von Geschiebe

„Quantitativ dosiertes Abtriften zwischengelagerten Geschiebes durch ablaufende Hoch- sowie Mittelwässer.“ (KETTL, 1984)
- Retendieren

„Durch Niederführen des Energiehorizontes in die Nähe des Stauspiegels kommt es zur unsortierten Ablagerung des Geschiebes bis zur Kolmatierung [sic] des Stauraumes.“ (FIEBIGER, 1984)
- Stabilisieren

Sicherstellen der Lage der Sohle gegen rückschreitende Erosion.
- Konsolidieren

„Heben eines Teiles der bachaufwärts liegenden Gewässersohle, um Rutschungs- und Böschungflächen abzustützen bzw. mit einem stützenden Fuß zu versehen.“ (FIEBIGER, 1984)

Aus der Entwicklung der neuen Sperrtypen auf Grund der nunmehr formulierten Zielvorstellungen ergab sich, dass in vermehrtem Ausmaß „[...] bifunktionelle Sperren [...]“ (FIEBIGER, 1984) errichtet wurden. Dies einerseits deshalb, da ein Hintereinanderschalten von Bauwerken verschiedener Funktionen oft durch die naturräumlichen Gegebenheiten in den Wildbächen nicht möglich war bzw. andererseits die Errichtung einer bifunktionellen Sperre wirtschaftlicher ist als der Bau von mehreren Querwerken (verändert, nach FIEBIGER, 1984). Die häufigsten, in der Wildbachverbauung zum Einsatz kommenden bifunktionellen Sperren sind kombinierte Konsolidierungs-Sortiersperren, Konsolidierungs-Dosiersperren, Sortiersperren mit Wildholzrosten, Sortiersperren mit Murbrecher. Die genaue Bezeichnung der bifunktionellen Sperren wird sich an jener Funktion orientieren, der das Hauptaugenmerk gilt.

Ein unkontrolliertes Übertragen von Sperrtypen und Sonderbauwerken ist jedoch nicht möglich. Jede Bautype ist das Ergebnis der Analyse eines speziellen

Einzugsgebietes und der sich darin entwickelten Wechselbeziehungen und der Geschiebedynamik (FIEBIGER, 1984).

Im Gegensatz zum herkömmlichen Sperrenbau, bei dem sich die Funktionen Konsolidieren und Retendieren als Resultat der Bauweise und der statischen Möglichkeit ergeben, sind bei den funktionsbezogenen Bautypen Geometrie, Konstruktion und statisches System ein Ergebnis der zugeordneten Funktion bzw. der Summe der angestrebten Funktionen (bifunktionelle Sperren). Die Vielfalt und unterschiedliche konstruktive Ausbildung der funktionsbezogenen Wildbachsperren, wie Schlitze, Großöffnungen, Großdolen, Wildholzroste, Schrägrechen, gepanzerte Bauteile, Murbrecher, Murteiler, usw. sind jedoch erst durch das Aufkommen und die Verwendung moderner Technologien in Stahlbeton-, Beton-, Stahl- und Grundbau möglich geworden. Eine weitere Grundlage wurde durch die rasche Entwicklung des Baumaschinensektors gegeben, die die Produktion von qualitativ hochwertigem Massenbeton auch auf den, oftmals sehr abgelegenen Baustellen der Wildbachverbauung gestattet (verändert, nach FIEBIGER, 1984).

Mit den, den jeweiligen Zielfunktionen entsprechend konstruktiv gestalteten Bauwerken wurden in den letzten 15 Jahren in der Geschiebebewirtschaftung österreichweit, aber vor allem in der Sektion Salzburg der Wildbach- und Lawinenverbauung, sehr gute Erfahrungen gemacht (ZEDLACHER et al., 1979; KETTL, 1984; BITTERLICH, 1998, GOTTHALMSEDER, 1998). Die Anwendung von verschiedenen, hinsichtlich ihrer Funktion aufeinander abgestimmten Sperrtypen (innerhalb einer Funktionskette, bei der jeder Bestandteil eine gleich hohe Qualität aufweist) stellen heute den Stand der Technik dar.

Trotzdem muss darauf hingewiesen werden, dass diese Bauwerke, wenngleich ihre hohe Funktionsfähigkeit in der Praxis bereits mehrmals unter Beweis gestellt wurde, noch nicht das Ende der Entwicklung von funktionsbezogenen Bautypen in der Geschiebebewirtschaftung darstellen. Der Weiterentwicklung bzw. Optimierung der einzelnen Bautypen wird daher auch in der Zukunft eine wesentliche Rolle innerhalb des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung zukommen.

3 DEFINITIONEN UND KLASSIFIKATIONEN – VON EINER STATISCHEN ZU EINER DYNAMISCHEN BETRACHTUNGSWEISE

Durch den Wandel vom Konzept des Geschieberückhaltes hin zum Konzept der Geschiebebewirtschaftung im Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung wurden von Mitte der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts bis heute viele neue Bautypen von Wildbachsperrren Österreichweit entwickelt. Wenn in anderen europäischen Ländern, aber auch in Japan diverse Bautypen im Laufe der Zeit entwickelt wurden, so kann Österreich sehr wohl auf Grund seiner langjährigen Erfahrung als Vorreiter auf dem Gebiet einer optimalen Geschiebebewirtschaftung und der Entwicklung von angepassten Bautypen angesehen werden.

Auf Grund der Vielzahl an entwickelten Bautypen – jede Einzelne auf Grund von Erfahrungen mit Wildbachereignissen verändert bzw. weiter optimiert – wurde sehr bald versucht, eine Einteilung vorzunehmen bzw. die einzelnen Bautypen genauer zu definieren. Die verschiedenen Bauweisen und Konstruktionen und ihre Bezeichnungen sind allerdings so vielfältig und ineinander übergehend, dass eine klare Einordnung bestimmter Bauten oft schwerfällt (KRONFELLNER-KRAUS, 1970). Durch die Aufnahme von Bautypen in digitale Datensammlungen ergibt sich heute der dringende Bedarf nach einer Klassifikation mit eindeutig definierten Bautypen ohne jede Art von Redundanz. Daher wurde - aufbauend auf den in der Literatur vorhandenen Bautypeneinteilungen im Rahmen dieses Projekts eine neue Wildbachsperrrenklassifikation, welche auf der Sperrengeometrie aufbaut, vorgeschlagen. Da dies einen umfangreichen und in sich geschlossenen Teil des Projekts darstellt, soll nicht hier im Rahmen dieser Aufstellung vorhandener Arbeiten zu offenen Wildbachsperrren darauf eingegangen werden. Vielmehr wurde diesem Teil der Arbeit ein eigener Band gewidmet (WLS Report 50 / Band 2). In Band 2 findet sich auch eine umfangreiche Darstellung und Diskussion der in der österreichischen Literatur vorhandenen Vorschläge zur Einteilung von Sperrrenbauwerken in Bautypen.

4 FUNKTIONSGRUPPEN – DEREN ZIELVORSTELLUNGEN UND KONSTRUKTIVE GEGENSTÜCKE

Nachdem nunmehr die Entwicklung vom reinen Geschieberückhalt hin zum Konzept der Geschiebebewirtschaftung dargestellt wurde, werden im folgenden die Sperrbauwerke der modernen Geschiebebewirtschaftung entsprechend ihren Zielfunktionen angeführt und die damit in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen und deren Vor- und Nachteile analysiert. Behandelt werden jedoch nur die neueren Funktionsgruppen „Brechen von Muren“, „Sortieren von Geschiebe und Wildholz“ und „Dosieren von Wasser und Geschiebe“. Die bereits länger bekannten und seit Jahrzehnten im Dienstzweig der Wildbach- und Lawinenverbauung verwendeten Funktionsgruppen „Stabilisieren“, „Konsolidieren“ und „Retendieren“ werden nicht behandelt, da sie keine bedeutenden Neuentwicklungen im Rahmen einer modernen Geschiebebewirtschaftung darstellen, wenngleich sie in einer Funktionskette (KETTL, 1984) als qualitativ gleichwertige Bauwerke ihren Platz weiterhin haben müssen. Es handelt sich dabei um Funktionen, welche man dem „Allgemeinwissen der Wildbachverbauung“ zuordnen kann.

In der folgenden Aufzählung wurde, um Verwechslungen mit der in Band 2 vorgeschlagenen neuen Klassifikation von Wildbachsperrern zu vermeiden, auf den Ausdruck „Bautype“ verzichtet. Vielmehr wird der Ausdruck Bauwerk für die den einzelnen Funktionen zugeordneten Wildbachsperrern verwendet.

4.1 Brechen von Muren

Zielfunktion: *„Niederführen des hohen Energiehorizontes von Muren auf ein niedrigeres Niveau mit dem Ziel einer wesentlichen Verringerung der dynamischen Beanspruchung von Bauwerken bzw. der Ablagerung von Muren an hierfür geeigneten Örtlichkeiten.“* (KETTL, 1984)

Bauwerk: Murbrecher

In einer Funktionskette werden Murbrecher als oberstes bzw. erstes Bauwerk eingesetzt, um der ablaufenden Mure die Energie zu nehmen. Daran schließen die weiteren funktionalen Bautypen einer modernen Geschiebebewirtschaftung an.

Murbrecher können einerseits als selbständige Werke konzipiert werden, andererseits werden sie sehr oft in Form von Murteilern mit Dosier- und Sortiersperren (bifunktionelle Sperren) kombiniert errichtet. Für die klassische Form des selbständigen Bauwerks soll die Beschreibung herangezogen werden, die GOTTHALMSEDER (1998) für die in Salzburg entwickelten Murbrecher dienen. Danach besteht der Mittelteil des Werkskörpers aus *„[...] drei bis fünf [sic] in Fließrichtung stehenden Mauern (Scheiben), [...] die schräg in den Verlandungsraum auslaufen.“* Diese Scheiben werden *„[...] auf einseitigen, mindestens 5-fachen Wasserdruck [...]“* bemessen (Anm.: In der Originalliteratur findet sich keine Begründung für den 5-fachen Wasserdruck, es ist nicht erwähnt, ob es sich um hydrostatischen oder dynamischen Druck handelt.). Die Form der Scheiben wird angegeben als *„[...] zweifach geknickt mit abschließendem Kopf [...]“*. Als charakteristisch für Murbrecher ist *„[...] der im obersten Bereich der Scheiben lotrecht emporragende Mauerabschluß [...]“*. Nach KETTL (1984) hängen die Abstände der Scheiben *„[...] von der Art der Mure ab: je grobblockiger und holzreicher die Geschiebezusammenballungen, desto weiter die Abstände [...]“* der Scheiben. Bei bifunktionellen Sperren wird der Murteiler bergseitig des, je nach Dosier- oder Sortierfunktion konstruktiv gestalteten Mittelteiles in Form einer Scheibe errichtet. Die jeweilige Scheibe ist dabei gleich ausgestaltet wie beim selbständigen Murbrechers und schützt die Sperre vor übergroßen dynamischen Belastungen und hält die Ausflussöffnungen frei von Verlegungen (verändert, nach SETZNAGEL, 1989).

Das älteste Bauwerk dieser Art findet man am Walchenbach in Tirol (*Abbildung 7*) bei dem damals noch Kegeln zur Ablagerung bzw. Abbremsung von

Muren schachbrettartig, ähnlich den Bremskegeln in der Auslaufzone einer Lawine, angeordnet wurden (verändert, nach LEYS, 1965b).

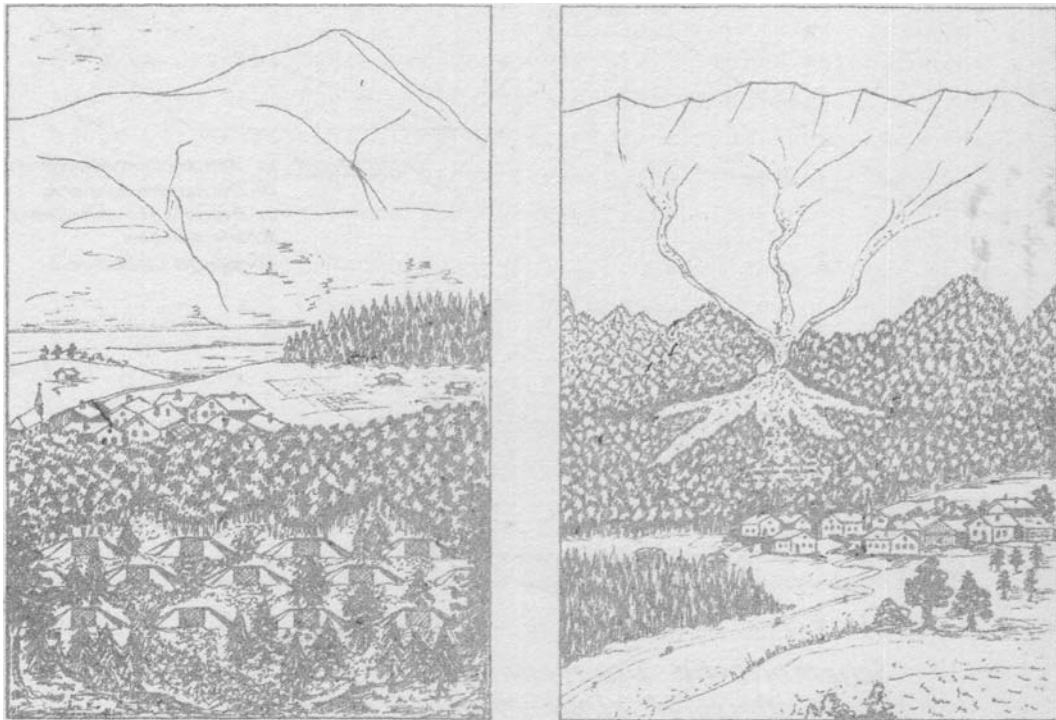


Abbildung 7: Murerbauung am Walchenbach in Tirol (LEYS, 1965b)



Abbildung 8: Murbrecher im Luggauerbach, Salzburg (Foto: Hübl)

Die vor allem in der Sektion Salzburg des Forsttechnischen Dienstes eingesetzten Murbrecher haben sich bei zahlreichen Ereignissen (Rastetzenbach, Luggauerbach (*Abbildung 8*), Mühlbach) sehr gut bewährt und stellen ein unverzichtbares Element einer Funktionskette dar. Aus Funktionsgründen werden Murbrecher in Einzelfällen auch als Lawinenbrecher (z.B.: Murbrecher

Rastetzenbach, Sektion Salzburg) mit spezieller baulicher Ausgestaltung mitgenützt. In jüngster Zeit werden kleine Murbrecher auf Konsolidierungssperren aufgesetzt, um die intermittierenden Stauräume im Katastrophenfall zusätzlich auszunützen.

4.2 Sortieren von Geschiebe und Wildholz

4.2.1 Sortieren von Geschiebe

Zielfunktion: *„Ausfiltern und Ablagern unerwünschten Grobgeschiebes während eines Hochwasserereignisses, aber kein Deponieren des ungefährlichen Geschiebekornes.“* (KETTL, 1984)

Bauwerk: Sortiersperre - von der Balkensperre zur Rost- oder Rechensperre

„Das Ausnützen der meist nur in beschränktem Ausmaß zur Verfügung stehenden Stauräume zum Zurückhalten jenes Teiles der Geschiebefracht, der in der unterliegenden Strecke als schadbringend angesehen wird, erhöht den Wirkungsgrad einer Unterlaufverbauung beträchtlich.“ (KETTL, 1984).

Die ersten Sortiersperren waren die von STAUDER (1972) entwickelten Balkensperren, die durch große, von normal zur Fließrichtung horizontal angeordneten Balken, ausschließlich Stahlträger oder Hohlkastenprofile, teilweise verschlossene Öffnungen charakterisiert werden. Die Balkensperren weisen großteils nur ein Balkenfeld auf, vereinzelt sind auch zwei oder mehrere Balkenfelder bei Sperren zu beobachten (*Abbildung 9*). Die Balken sind an den Öffnungen der Ränder in Aussparungen im Beton (Köcher) oder in U-Profilen verankert und können jederzeit entnommen werden. Auch die Abstände der Balken können durch Distanzstücke den jeweils gemachten Erfahrungen nach der Beaufschlagung durch Wildbachereignisse entsprechend angepasst werden. Die Sicherung der Balken erfolgt meist über Bolzen.



Abbildung 9: Balkensperre im Riedbach in Tirol (Foto: WLS-Archiv)

Früher wurde die Meinung vertreten, dass Balkensperren wirtschaftlicher als normale Wildbachsperren sind, da sie bis beim Katastrophenereignis teilweise funktionsfähig bleiben, da der Stauraum nicht durch kleinere Ereignisse aufgefüllt wird, und der volle Stauraum rasch räumbar ist, da nach dem Entfernen des an die Balken angeschwemmten Wildholzes der Abbau des verlandeten Stauraumes weitgehend selbsttätig erfolgt (verändert, nach KRONFELLNER-KRAUS, 1970; STAUDER, 1972). Bei der Entfernung der Balken, um die Abflussektion rasch räumen zu können, zeigten sich jedoch sehr bald Probleme in der praktischen Anwendung. GOTTHALMSEDER (1998) stellt dazu fest, dass man sich von dem anfänglichen Vorhaben, Sperren so zu gestalten, dass sie von ihrer Talseite geöffnet bzw. durch ihre Abflussektion geräumt werden können (ehemaliges Argument für Balkensperren), mittlerweile distanziert hat, da sich dies in der Praxis als schlichtweg undurchführbar herausgestellt hat. Spätestens in dem Moment, in dem man unterhalb einer 7 – 10 m hoch verkleusten Abflussektion zu stehen kommt (*Abbildung 10*), wird man sich der enormen, unberechen- und unvorhersehbaren Kräfte der aufgestauten Massen an Wasser, Schlamm und Wildholz bewusst werden. Der Grund hierfür liegt darin, dass das mitgeführte Holz auf gleicher Ebene auf der die Träger liegen, angeschwemmt wird und an der vertikalen Seite vom Wasser angepresst sofort zu einem Rückstau führt.



Abbildung 10: Verklaute Balkensperre am Trübenbach, Kärnten (Foto: WLW)

Eine optimale Sortierung von Geschiebe, aber auch von Wildholz, setzt das ,
„[...] Vorhanden sein ausreichender Spülwassermengen und möglichst ungestörten Durchfluß durch den Stauraum besonders während des ablaufenden Hochwassers [...]“ bzw. keinen *„[...] Verschuß der Sperren-Durchflußöffnungen durch Treibholz. [...]“* voraus (KETTL, 1973).

Zur Ablagerung von Geschiebe stellte ZOLLINGER (1984) in seiner Arbeit „Die Funktionen von Geschieberückhaltebauwerken“ vier Möglichkeiten fest, nämlich die Erweiterung des Fließquerschnittes, die Reduktion des Längsgefälles, den Wasserstau im Becken und den direkten Rückhalt an der Sperre. Die *„[...] Spülungen [...]“* - wie ZOLLINGER (1984) die selbsttätige Entleerung nennt -, der Rückhalteräume sind jedoch nur dann zweckmäßig, wenn das Unterlaufgerinne die gespülte Geschiebemenge ohne Auflandungen transportieren kann und wenn die Schleppkraft des Vorfluters ausreichend ist, um rückschreitende Anlandungen zu verhindern. Von einer zufriedenstellenden, selbsttätigen Entleerung spricht ZOLLINGER (1984) dann, wenn bereits 50% des abgelagerten Geschiebes selbsttätig gespült werden.

Erfahrungsgemäß werden die einfachen Balkensperren jedoch bereits während des ersten Hochwassers meist durch mitgeführtes Wildholz verklaust (HOFFMANN, 1976), da die horizontalen Balken Ausgangspunkt für Verklausungen

sind. In zwei Wildbächen in Frankreich, in denen große Balkensperren aus Stahlbeton als sehr durchlässige Sortierwerke geplant wurden, zeigte sich beim ersten größeren Ereignis, dass der Sortiereffekt offenbar versagte, denn durch die völlige Verklauung der Balken mit groben Blöcken wirkten die beiden Sperren nur noch konsolidierend und retendierend (verändert, nach RUDOLF-MICKLAU, 1997).

Horizontale Balken begünstigen nicht nur Verklauungen, sondern bilden Erosionsbasen und erschweren die selbsttätige Entleerung, während lotrechte Rechenstäbe die Tiefenerosion und damit die Entleerung des Stauraumes begünstigen (verändert, nach HOFFMANN, 1973; KRONFELLNER-KRAUS, 1973).

Nachdem die Balkensperren die in sie gesetzten Erwartungen hinsichtlich einer Ausfilterung des Wildholzes und einer Ablagerung des im Unterlauf unerwünschten Grobgeschiebes aus den genannten Gründen nicht hinreichend erfüllen konnten, entwickelte man in der Sektion Salzburg des Forsttechnischen Dienstes wasserseitig der Sperren angebaute schräge Roste, die die Durchflussöffnungen in der Sperre abdecken sollten. Diese schrägen Roste eignen sich besonders für geschiebeführende, wasserreiche Wildbäche (RICCABONA, 1988).

Waren die ersten Roste noch gleichmäßig geneigt und aus Eisenbahnschienen (z.B. Gasteiner Ache) hergestellt, ging man innerhalb kürzester Zeit dazu über, den Rost mehrfach zu knicken, um ein Aufschieben und Aufschwimmen des Holzes im Hochwasserfall zu erleichtern. Die Eisenbahnschienen wichen sehr bald Eisenträgern und später Kastenprofilen, die mit Beton ausgegossen wurden. Die Kastenprofile werden an den Knickstellen noch durch Queraussteifungen, heute auch meist mit Beton ausgegossene Kastenprofile, verstärkt. Aber gerade diese horizontalen Stäbe sind eines der größten Funktionshindernisse, da „[...] an diesen Elementen auch das kleines Holz [...]“ hängen bleibt und „[...] dem Freispülen erheblichen Widerstand entgegengesetzt.“ (KETTL, 1973).

Die optimale Konstruktion zur Ausfilterung des unerwünschten Wildholzes stellt derzeit ein dreifach geknickter Rechen (10% - 2:3 - 5:2 - 0%) mit einem abschließenden horizontalen Abschnitt dar (SKOLAUT, C., 1998). Die mehrfach geknickten Rechen begünstigen das Aufschwimmen des anfallenden Wildholzes und durch die flach geneigten unteren Rechenabschnitte bleibt die Durchlässigkeit länger erhalten als bei den steil angestellten und nicht geknickten Sortierrechen

(KRIMPELSTÄTTER, 1998). Die sehr gute Funktionsweise dieser Rechenkonstruktion konnte zudem durch die Beobachtung eines Hochwassers in Saalbach, das auf ein Abschlussbauwerk mit einer dreifach abgewinkelten Rechenkonstruktion auftraf, nur bestätigt werden (ZISLER, 1997).

Durch das Aufschieben des Wildholzes findet bereits während des an- und ablaufenden Hochwassers ein Spülvorgang des Verlandungsraumes statt, so dass eine beträchtliche Geschiebefracht, vor allem der Feingeschiebeanteil, der vom Unterlauf problemlos transportiert werden kann, das Sortierwerk passiert. Die Endphase im Prozessablauf, das Herabsinken des zurückgehaltenen Wildholzes, konnte bisher noch nicht gänzlich unter Kontrolle gebracht werden, weshalb es weiterhin zur unerwünschten Ablagerung von Feingeschiebe und Schlamm kommt. Es ist daher, um die selbsttätige Räumung zu begünstigen, eine anfängliche Freilegung durch einen Bagger erforderlich (GOTTHALMSEDER, 1998).

Die Vorteile der Rechensperre liegen in der günstigen Entwässerung des Beckens, weil durch die breite Ausführung der Öffnung das Zwischenmauerwerk fehlt, das zu einem Geschiebeaufbau Veranlassung geben kann (LEYS, 1965c), aber auch der selbsttätige Abbau von Verlandungen bei geschiebeloser Wasserführung funktioniert sehr gut, und hier besonders bei denen, die lange Verlandungsräume aufweisen (RICCABONA, 1988). Die Sortiersperren, aber auch die später behandelten Dosiersperren erfüllen ihre Aufgabe jedoch nur dann selbsttätig, wenn genügend geschiebearme Mittel- und kleine Hochwässer als Spülwässer vorhanden sind (verändert, nach HAMPEL, 1968b). Große Probleme treten bei Wasserentzug durch Kleinkraftwerke auf. Hier sind gezielte Spülvorgänge wasserrechtlich sicherzustellen (SKOLAUT, H., 1998).

4.2.2 Sortieren von Wildholz

Zielfunktion: *„Ausfiltern und / oder Abfangen unerwünschten Unholzes während eines Hochwasserereignisses und dadurch Ausschaltung der Verklausungsgefahr in bachabwärtigen Bereichen.“* (FIEBIGER, 1984)

Bauwerk: Wildholzrechen oder -roste

Die Aussortierung des Wildholzes ist bei den meisten Sperren bautechnisch in die Geschiebe- bzw. Wasserdosier- und –sortierwerke integriert und ein statisch mitwirkender Teil dieser Sperren (KETTL, 1984). Einzelne stehende Wildholzrechen,

meist als Einlaufbauwerk vor einem Sortier- oder Dosierwerk, wurden anfänglich nur sehr vereinzelt errichtet, da die Meinung vorherrschte, dass durch die Ablagerung des Wildholzes an der Bachsohle keine Trennung von der Geschiebefracht erfolgen kann. Es kommt deshalb zu einem Aufstau der gesamten Geschiebe- und Wildholzfracht und damit ist die Möglichkeit eines Verkläusungsbruches gegeben, der ein weiteres Murereignis zur Folge hat. Durch die kombinierte Bauweise konnte diese Gefahr heute ausgeschaltet werden.

Durch die Entwicklung von Bauwerken, bei denen das Ausfiltern durch die Anlage von verteilt angeordneten säulenförmigen Bauteilen erfolgt, ist jedoch in letzter Zeit eine Konstruktion gegeben, bei der das Wildholz von eigenständigen Bauwerken noch vor dem Verlandungsraum aussortiert werden kann (*Abbildung 11*).



Abbildung 11: Wildholzrechen im Fischbach, Salzburg (Foto: Wehrmann)

Die als optimal geltende Ausformung der Wildholzrechen wurde bereits bei den Sortiersperren erarbeitet, weshalb an dieser Stelle darauf verwiesen wird. Die ursprüngliche Befürchtung, dass durch die schrägen, wasserseitig angebauten Rechenkonstruktionen das aufschwimmende Holz in die Unterläufe gelangen und dort Verkläusungen bzw. Schäden anrichten sollte, haben sich nicht bewahrheitet (RICCABONA, 1988). Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass der oberste horizontale Rechen mindestens 2,0 - 3,0 m lang ist.

4.3 Dosieren von Wasser und Geschiebe

4.3.1 Dosieren von Wasser

Zielfunktion: *„Quantitatives Ändern der Wasserabflußspende durch qualitative Änderung der Abflußganglinie an einer bestimmten Stelle.“* (KETTL, 1984) sowie *„Im Idealfall temporärer Rückstau der gesamten Hochwasserganglinie mit Reduktion des in die unterliegende Strecke abzugebenden HQ (Anm.: Hochwasser) auf ein unschädliches Maß.“* (KETTL, 1973)

Bauwerk: Wasserdosierwerk

Durch die Verringerung der an den unteren Bachabschnitt abgegebenen Wassermenge kommt es zur *„[...] Verringerung des Schleppvermögens [sic] und Verhinderung von Erosion und murartigen Geschiebeakkumulierungen.“* (KETTL, 1984). Wasserdosieranlagen werden von FIEBIGER (1984) daher als *„[...] die Quintessenz der Geschiebebewirtschaftung [...]“* bezeichnet, *„[...] da durch die Beherrschung des Transportmittels und dessen Dosierung auf ein unschädliches Ausmaß das zu transportierende Medium zweitrangig wird.“* Voraussetzung für die Anwendung dieser Bauwerke ist jedoch die Anordnung möglichst oberhalb des gefährdeten Gebietes, das Vorhandensein ausreichend großer Stauräume, günstige Gründungsmöglichkeiten und standfeste Einhänge (SKOLAUT, C., 1998).

Die in der Wildbach und Lawinenverbauung bis heute errichteten Wasserdosiersperren waren zu 68% ungesteuert, das heißt der Ausfluss hängt allein von der Größe der Dolen und der Stauhöhe im Becken ab. Nur 32% aller Wasserdosierbauwerke werden gesteuert, sei es durch hydrostatisch gesteuerte Klappen, schwimmergesteuerte Klappen oder durch Schieber bzw. Schütze (SKOLAUT, C., 1998).

Die in der Wildbach- und Lawinenverbauung im Rahmen einer Funktionskette zur optimalen Geschiebebewirtschaftung eingesetzten Bauwerke der Wasserdosierung sind nur vereinzelt zu finden. Meistens werden diese als eigenständige Hochwasserrückhaltebecken errichtet.

4.3.2 Dosieren von Geschiebe

Zielfunktion: „*Quantitativ dosiertes Abtriften zwischengelagerten Geschiebes durch ablaufende Hoch- und Mittelwässer.*“ (KETTL, 1984)

Bauwerk: Geschiebedosiersperre - Schlitzsperre

„*Wie das Dosieren von Wasser [...] ist auch das Dosieren von Geschiebe eine hochspezialisierte Art der Geschiebebewirtschaftung [...]*“, die vom „*[...] Vorhandensein von ausreichendem Spülwasser [...]*“, von einem „*[...] einheitlichen grusartigen Geschiebekornaufbau ohne bindige Bestandteile [...]*“ sowie einer „*[...] geringen Holztrift [...]*“ abhängig ist (KETTL, 1984). Charakteristisch für allen Schlitzsperren - unabhängig von der konstruktiven Ausgestaltung auf Grund der jeweiligen Bachverhältnisse - ist, dass im Hochwasserfall ein Rückstau des Wassers eintritt, in dem das Geschiebe und das Wildholz zwischengelagert wird, und dass aber diese Öffnungen von selbst oder ohne großen Aufwand nach dem Ablauf des Wassers zu reaktivieren sind, ohne sich der Gefahr eines schlagartigen Ausrinnens der Verlandung auszusetzen. Diese theoretischen Überlegungen lassen sich aber in der Praxis nicht sehr leicht umsetzen, da die geschilderten, optimalen einheitskornähnlichen Bedingungen, mit Ausnahme von Kalkbächen, nur selten zutreffen.

Die Schwäche der bisher verwendeten Bautypen liegt darin, dass sich die Forderung nach einer großen Schlitzweite, die einen möglichst langanhaltenden Durchfluss während der anlaufenden Hochwasserwelle gewährleisten soll, und einer Verengung der Schlitzweite zur Kappung der Hochwasser- und Geschiebespitze nicht vereinbaren lassen.



Abbildung 12: Schlitzsperre im Luggauerbach, Salzburg (Foto: Hübl)

Um diesem Problem zu begegnen, wurden die Schlitzkonstruktionen den jeweiligen Anforderungen entsprechend ausgestaltet. Wenn die Breite des Schlitzes nicht beliebig vergrößert werden kann, da die Dosierfunktion dominiert, werden Mehrfachschlitze, geteilt durch einen wasserseitig Murteiler, angeordnet. Soll jedoch das Hochwasser bis in den oberen Mittelwasserbereich ungehindert abfließen können, werden die Schlitze L-förmig ausgebildet. Diese können entsprechend einer Abflusssektion dimensioniert werden. Eine Sonderform stellt die „Christbaumsperre“ (*Abbildung 12*) dar, die eine Kombination von Schlitzen mit mehreren Abflusssektionen darstellt. Die Dosierfunktion übernehmen doppelseitige Einschnürungen ohne durchgehende horizontale Elemente, so dass ein Freispülen von oben nach unten jederzeit möglich ist (verändert, nach KETTL, 1984).

Bei Schlitzsperrern erfolgt die Abspülung aus dem Verlandungsraum wesentlich stärker als bei allen anderen Bautypen, da die Erosion durch Senkung der Erosionsbasis (Schlitztiefe) viel tiefer greifen kann. Mittelwässer sollen das Bauwerk passieren können, während Hochwässer mit dem transportierten Grobgeschiebe zwischengelagert werden sollen und das unschädliche Feingeschiebe durch nachfolgende geschiebearme Mittelwässer abtransportiert werden soll (KRONFELLNER-KRAUS, 1970; SCHILCHER, 1973). Ein wirkungsvoller

Geschiebedurchlaß funktioniert aber erst dann, wenn die Schlitzbreite größer als der Durchmesser des Größtkornes ist (HAMPEL, 1974). Wichtig bei der Entleerung ist, dass die Entleerungsgeschwindigkeit nicht größer als die Transportkapazität des darunterliegenden Bachabschnittes ist (ZELLER, 1973).

Gegen ein zu rasches Verklausen hat sich der nicht zu tief gehende Schlitz erwiesen, da dadurch das Wildholz und das Grobgeschiebe weiter hinten im Stauraum zur Ablagerung gelangen und somit die Abtrift des Feingeschiebes nahe der Sperrenöffnung nicht behindern (SCHILCHER, 1973). Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Spülungen um so weniger wirkungsvoll sind, je mehr bindiges Material im Verlandungsraum abgelagert wird, da bei der selbsttätigen Entleerung nur eine tiefe Erosionsrinne im zwischengelagerten Material entsteht (ZELLER, 1973).

5 MODELLVERSUCHE – BISHERIGE ERGEBNISSE UND ANFORDERUNGEN AN DIE ZUKUNFT

Die ersten Modellversuche wurden in Österreich von STINY (1917) durchgeführt. Schließlich dauerte es doch bis in die Mitte der 50er Jahre, in denen LEYS (1965a) mit dem Modellversuch Larsennbach überprüfte, ob der letzte Bauentwurf von 1953 eine günstige Verbauungslösung darstellte, ob er den Erwartungen betreffend Strömungen und Geschiebeabfuhr im Gerinne entsprach oder ob der Bauentwurf abgeändert werden musste.

Dieses Beispiel ist in Österreich innerhalb des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung bis zum Ende der 90er Jahre eines unter wenigen, bei denen ein Verbauungskonzept vor der Realisierung im Modell überprüft wird. In der Regel werden in Österreich neue Bautypen sofort in Wildbächen eingesetzt und die Dimensionierung der Sperren – insbesondere die Öffnung des Schlitzes oder der Abstand der Balken – in der Praxis empirisch ausgeführt, während man zum Vergleich in Japan die Funktion von Bautypen und deren Wirksamkeit zuerst vollständig in Modellversuchen überprüft (verändert, nach MARUI, 1988).

Die umfangreichsten Modellversuche wurden in Österreich von HAMPEL (1968, 1974) durchgeführt. In seiner Arbeit „Geschiebeablagerung in Wildbächen, dargestellt in Modellversuchen“ (1968) wurden gegen eintausend Modellversuche zur Klärung der Gesetzmäßigkeiten bei der Ablagerung von Geschiebe ausgeführt und ausgewertet. Diese gliederten sich in drei große Gruppen:

- Ausbildung des Schwemmkegels und Bau von Ablagerungsplätzen
- Verlandung von Sperren und Bau von Entleerungs- und Gittersperren
- Vorübergehender Stau von Murgängen und Bau von Staugurten

Anhand dieser Modellversuche musste aber auch HAMPEL (1968) erkennen, dass die Übertragung absoluter Werte vom Modellversuch in die Natur mit großen Unsicherheiten behaftet ist und man daher versuchen sollte, dimensionslose Beziehungen zwischen Ursachen und Wirkungen zu finden.

Eine detaillierte Abhandlung der Ergebnisse dieser Modellversuche ist auf Grund des großen Umfangs an dieser Stelle nicht möglich. Es sei für intensivere

Befassung mit den Ergebnissen dieser Versuche auf die zitierte Originalliteratur verwiesen.

In HAMPELS (1974) Arbeit „Die Wirkungsweise von Wildbachsperrern“ wurden die Sperrern in Schnell- (Konsolidierungs- und Vollsperrern), Langsam- (Sieb- und Entleerungssperrern) und Spätverlander (Katastrophensperrern mit großen Balkenabständen) eingeteilt und aufbauend auf den 1968 veröffentlichten Erfahrungen der Modellversuche hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit, unterstützt durch weitere Modellversuche, untersucht.

Ergebnisse dieser Arbeiten HAMPELS (1974) sind einerseits, dass die wichtigste Voraussetzung für die Wirkung von Entleerungssperrern der staulose Abfluss von Katastrophenwässern ist, denn sobald ein nennenswerter Rückstau auftritt, hört die Durchschleusung des Geschiebes schlagartig auf. Dieser staulose Abfluss hängt maßgeblich vom Geschiebeanteil, dem Aufbau der Sieblinie, der Wassermenge und der konstruktiven Ausgestaltung der jeweiligen Rechen-, Balken- oder Schlitzsperre ab. Andererseits erkannte auch HAMPEL (1974), dass die größte Gefahr für die Funktionsfähigkeit der kronenoffenen Sperrern das Wildholz bildet. Insgesamt erkennt man anhand der durchgeführten Untersuchungen aber, dass durch eine Kombination von Sieb- und Schlitzsperrern die Geschiebeführung weitgehend beeinflusst werden kann (verändert, nach HAMPEL, 1974).

Die wesentlichste Divergenz zwischen den genannten Modellversuchen und der Natur liegt nach KRONFELLNER-KRAUS (1970) 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.

ZELLER (1973) kam in seinen Arbeiten hingegen zu dem Schluss, dass nur hydraulische Modellversuche genügend großen Maßstabes und fachgerecht ausgeführt, brauchbare Resultate erzielen. Es zeigt sich aber immer wieder, dass die Qualität der Ergebnisse weitgehend von der Erfahrung in solchen Modell-Geschiebetrieb-Untersuchungen abhängt.

In seiner 1989 publizierten Arbeit untersuchte SETZNAGEL vor allem den Bewegungsablauf von Murgängen und das Verhalten von Grobgeschiebe und

Treibholz beim Auftreffen auf die Sperren. Es wurden dabei die bisher gebauten Wildbachsperren in Bezug auf ihre Funktionsfähigkeit hin überprüft. Hinsichtlich des Treib- oder Wildholzes, wie es richtigerweise bezeichnet wird, stellte SETZNAGEL (1989) fest, dass die Trennung von Holz und Geschiebe die Voraussetzung für den Erfolg einer Geschiebebewirtschaftung ist, und führt deshalb verschiedene Möglichkeiten der Aussortierung von Wildholz an. Auch WIDMAN (1994) stellte bei seinen Versuchen, die das Verhalten einer kronenoffenen Sperre bei einem Murgang untersuchten, fest, dass das Hauptproblem der Funktionsfähigkeit solcher Sperren die Beherrschung des Wildholzes ist. Obwohl SETZNAGEL (1989) eine große Zahl von Modellversuchen durchführte, musste er als eines der Ergebnisse seiner Arbeit feststellen, dass *„[...] Modellversuche ein brauchbares Mittel zur qualitativen Untersuchung der Wirkungsweise von Wildbachsperren, insbesondere des Bewegungsablaufes von Muren. [...]“* sind, die *„[...] Übertragung der quantitativen Ergebnisse in die Natur [...]“* aber *„[...] nicht oder nur bedingt möglich [...]“* ist (SETZNAGEL, 1989).

Im Rahmen dieses Projektes wurden ebenfalls Modellversuche durchgeführt, welche in Band 3 behandelt werden. Man muss bei Modellversuchen immer bedenken, dass jedes Modell nur ein vereinfachtes Abbild der Natur darstellt, jedoch solche Versuche oft die einzige Möglichkeit darstellen, gewisse Prozesse unter kontrollierten Bedingungen zu beobachten.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- AULITZKY, H. (1985): Die Wildbäche und ihre Verbauung. Wien.
- BITTERLICH, E. (1998): 30 Jahre Erfahrung mit Sortierwerken. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 136, S.103-105.
- FIEBIGER, G. (1984): Funktionelle Bautypen der Wildbachverbauung als Grundlage der Geschiebebewirtschaftung. In: Interpraevent 1984, Band 1, S.123-133.
- GOTTHALMSEDER, P. (1998): Bautypen der Geschiebebewirtschaftung. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 136, S.81-102.
- GSCHWENDTNER, A., LEYS, E., KEILER, M., KETTL, W., WEINMEISTER, H.W. & FREUNDSCHLAG, G. (1970): Sommerstudienreise 1970 in Salzburg und Tirol. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 114, S.157-166
- HAMPEL, R. (1990): Geschiebefracht und Geschiebetrieb. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 1/1982, S.1-49.
- HAMPEL, R. (1977a): Geschiebewirtschaft in Wildbächen (Erster Teil). Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 1/1977, S.3-34.
- HAMPEL, R. (1977b): Geschiebewirtschaft in Wildbächen (Zweiter Teil). Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 2/1977, S.3-144.
- HAMPEL, R. (1974): Die Wirkung von Wildbachsperrern; Wildbach- und Lawinenverbau Heft 1/1974, S.1 – 79.
- HAMPEL, R. (1968a): Geschiebeablagerung in Wildbächen dargestellt in Modellversuchen 1.Teil. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 1/1968, S.1-37.
- HAMPEL, R. (1968b): Geschiebeablagerung in Wildbächen dargestellt in Modellversuchen 2.Teil. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 2/1968, S.38-129.
- HOFFMANN, L. (1976): Die Hochwasserdurchflußmenge bei Balkensperren. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 1/1976, S.59-63.
- HOFFMANN, L. (1973): In: Diskussion zu den Referaten. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, Heft 102, S.386-402.

- HOFFMANN, L. (1955): Geschiebestausperren mit selbsttätiger Entleerung von Feingeschiebe. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 6/1955, S.49-60.
- KETTL, W. (1998): Vom Gefahrenpotential zum Verbauungssystem. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 136, S.9-14.
- KETTL, W. (1994): Techniken der Wasser- und Geschiebebewirtschaftung als Beitrag zur Stabilisierung von Ökosystemen. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 126, S.41-45.
- KETTL, W.; (1984): Vom Verbauungsziel zur Bautypenentwicklung - Wildbachverbauung im Umbruch - ; Wildbach- und Lawinenverbau Jg. 48 Sonderheft, S. 61 – 98.
- KETTL, W. (1973): Sortierwerke im Pongau: Theorien, Erfahrungen. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 2/1973, S.15-24.
- KRIMPELSTÄTTER, L. (1998): Ausgestaltung von Rostauflagen bei Sortierwerken. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 136, S.107-111.
- KRONFELLNER-KRAUS, G. (1973): In: Diskussion zu den Referaten. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, Heft 102, S.386-402.
- KRONFELLNER-KRAUS, G.; (1970): Über offene Wildbachsperrern. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Heft 88, S.7-76.
- LEYS, E. (1980): Die Grenzen der „Machbarkeit“ in Gebirgslandschaften. Interpraevent 1980, Band 2, S.265-275.
- LEYS, E. (1976): Die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen in der Wildbachverbauung der großdoligen und der kronenoffenen Bauweise. Dissertation am Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung, Universität für Bodenkultur Wien.
- LEYS, E. (1971a): Erkenntnisse und Folgerungen aus den Unwetterkatastrophen des Jahres 1965 in den Bezirken Imst und Landeck in Tirol. Interpraevent 1971, Band 3, S.431-440.
- LEYS, E. (1971b): Die Bedeutung der großdoligen und der kronenoffenen Bauweise in der Wildbachverbauung zur Vorbeugung von Hochwasser- und Murschäden. Interpraevent 1971, Band 3, S.441-449.

- LEYS, E. (1967): Rechen- und Balkenbauten in der Wildbachverbauung zur Regulierung des Geschiebetriebes. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 3/1967, S.44-51.
- LEYS, E. (1965a): Modellversuch Larsennbach. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 22, S.1-13.
- LEYS, E. (1965b): Wann sind Murverteiler vorteilhaft. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 23, S.49-56.
- LEYS, E. (1965c): Schlitzdolen und Eisenrechen bei geraden Auslaufsperrern von Geschiebeablagerungsbecken. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 23, S.57-65.
- MARESCH, J. (1894): Denkschrift über die aus Anlaß der Überschwemmung vom Jahre 1882 auf Grund des Reichsgesetzes vom 13. Mai 1883, R.-G.-Bl. Nr. 31, in den Jahren 1883 - 1893 ausgeführten Wildbach-Verbauungen in Tirol. Verlag der Landes-Commission zur Regulierung der Gewässer in Tirol , 1894.
- MARUI, H. (1988): Vergleichende Beurteilung von ausgewählten Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen in der Wildbachverbauung Japans und Österreichs. Interpraevent 1988, Band 1, S.125-142.
- RICCABONA, B. (1988): Bisherige Erfahrungen mit Entleerungssperren und ihre Wirkungsweise bei Murstößen und Hochwässern in den letzten 20 Jahren. Interpraevent 1988, Band 3, S.119-129.
- RUDOLF-MICKLAU, F. (1997): Die französische Wildbachverbauung einst und heute – Verbauungstechnik in den Wildbächen „La Coumbe“ und „La Boulette“ – Sommerstudienreise Frankreich. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 134, S.51-55.
- SCHILCHER, CH. (1973): Erfahrungsbericht über die Schlitzsperre im Litzbach in der Gemeinde Silbertal, Bezirk Bludenz. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Heft 102, S.293-305.
- SETZNAGEL, R. (1989): Modellversuche mit Wildbachsperren. Diplomarbeit am Institut für Wildbach- und Lawinenschutz, Universität für Bodenkultur Wien.

- SKOLAUT, C. (1998): Steuerung von Hochwasserrückhaltebecken – Erfahrungen in der Wildbach- und Lawinenverbauung. Diplomarbeit am Institut für Wildbach- und Lawinenschutz, Universität für Bodenkultur Wien.
- SKOLAUT, H (1998): Auswirkungen von Wasserkraftwerken auf die Entwicklung der Wildbacheinzugsgebiete. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 136, S. 57-59.
- STAUDER, S. (1972): Balkensperren im Zillertal – Eine neue Verbauungstypen der Wildbachverbauung. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 1/1972, S.1-45.
- ÜBLAGGER, G. (1973): Retendieren, Dosieren und Sortieren. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Heft 102, S.335-372.
- WIDMAN, G. (1994): Verhalten einer kronenoffenen Sperre bei einem Murgang. Diplomarbeit am Institut für Wildbach- und Lawinenschutz, Universität für Bodenkultur Wien.
- ZEDLACHER, D., JEDLITSCHKA, M., DIERA, N. & FIEBIGER, G. (1979): Sommerstudienreise Salzburg. Wildbach- und Lawinenverbau, Sonderheft 1979.
- ZELLER, J. (1973): In: Diskussion zu den Referaten. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, Heft 102, S.386-402.
- ZISLER, H.J. (1997) Mündliche Mitteilung zitiert nach SKOLAUT (1998).
- ZOLLINGER, F. (1984): Die verschiedenen Funktionen von Geschieberückhaltebauwerken. Interpraevent 1984, Band 1, S.147-160.

7 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abbildung 1:	Ufermauern zum Schutz der Stadt Schwaz (STRITZL, 1984)	2
Abbildung 2:	„Pont' Alto“-Sperre bei Trient (STRITZL, 1984)	3
Abbildung 3:	„Thalsperre“ am Alterbach (MARESCH, 1894).....	4
Abbildung 4:	Konsolidierungssperre am Rettenbach in Tirol (Foto: Holub).....	7
Abbildung 5:	Klassische Geschiebestausperre am Fischbach im Ötztal (Foto: WLS-Archiv)	8
Abbildung 6:	Sortiersperre im Märzenbach im Zillertal (Foto: WLS-Archiv)	10
Abbildung 7:	Murverbauung am Walchenbach in Tirol (LEYS, 1965b).....	22
Abbildung 8:	Murbrecher im Luggauerbach, Salzburg (Foto: Hübl)	22
Abbildung 9:	Balkensperre im Riedbach in Tirol (Foto: WLS-Archiv)	24
Abbildung 10:	Verklauste Balkensperre am Trübenbach, Kärnten (Foto: WLV)	26
Abbildung 11:	Wildholzrechen im Fischbach, Salzburg (Foto: Wehrmann).....	29
Abbildung 12:	Schlitzsperre im Luggauerbach, Salzburg (Foto: Hübl)	32

