

Versuchsanstalt für Wasserbau  
Hydrologie und Glaziologie  
der Eidgenössischen  
Technischen Hochschule Zürich

---

# Mitteilungen

188

## **Schwemmholz**

Probleme und Lösungsansätze

Daniela Lange  
Gian Reto Bezzola

Zürich, 2006

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. H.-E. Minor

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Erwin Minor

Im Eigenverlag der  
Versuchsanstalt für Wasserbau,  
Hydrologie und Glaziologie  
ETH-Zentrum  
CH-8092 Zürich

Tel.: +41 - 1 - 632 4091  
Fax: +41 - 1 - 632 1192  
e-mail: [info@vaw.baug.ethz.ch](mailto:info@vaw.baug.ethz.ch)

Zürich, 2006

ISSN 0374-0056



## **Vorwort**

Nach jedem grösseren Hochwasser treffen in der VAW Anfragen betreffend Schwemmholz ein. Meistens handelt es sich um konkrete Projekte, die in einem Modellversuch optimiert werden sollen. Seit 1991 hat die VAW ein Dutzend solcher Aufträge bearbeitet. Die entsprechenden Berichte sind unter "Referenzen" am Ende des vorliegenden Berichtes aufgeführt.

Während am Anfang die Fragestellungen eher darauf ausgerichtet waren, wie man das anfallende Schwemmholz schadlos weiterleitet, wurde später vermehrt die Frage gestellt, wie Schwemmholz effektiv zurückgehalten werden kann, auch unter Berücksichtigung des anfallenden Geschiebes. Der Schwerpunkt lag dabei auf steilen Gerinnen.

Ende 1998, es war gerade eine grössere Anzahl konkreter Fragestellungen an der VAW in Bearbeitung, wurde deshalb vom BWG der Wunsch geäussert, die bisher gewonnenen Ergebnisse aus konkreten Projekten durch Einbezug von Zusatzuntersuchungen soweit zu verallgemeinern, dass sich Möglichkeiten und Strategien zur Verringerung des Gefahrenpotentials durch Schwemmholz ableiten lassen. Der vorliegende Bericht versucht dies.

Allerdings müssen wir sagen, dass durch das jüngste Hochwasser im August 2005 die Schwemmholzproblematik wieder sehr aktuell geworden ist und sich neue Fragestellungen ergeben haben. Natürlich steht nach wie vor die Verklausungsgefahr an Durchlässen und Brücken im Vordergrund, aber die Schwemmholzteppiche in den Mündungsbereichen der Seen sowie die Entsorgungsproblematik verschieben den Fokus etwas. Damit sind die notwendigen weiterführenden Arbeiten wenigstens zum Teil benannt.

Wir möchten dem BWG, das den Auftrag gegeben hat und das heute ins BAFU integriert ist, für die Finanzierung dieser Studie herzlich danken, und wir hoffen, dass der vorliegende Bericht etwas zum Prozessverständnis beitragen kann sowie Hilfestellung leisten kann bei den Überlegungen, wie bei einem bestimmten Projekt das Schwemmholzproblem Erfolg versprechend angepackt werden kann.

Zürich, März 2006

Prof. Dr.-Ing. H.-E. Minor



# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

Inhaltsverzeichnis .....	I
--------------------------	---

Kurzfassung.....	V
------------------	---

Summary.....	V
--------------	---

<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

<b>2 BEDEUTUNG DES HOLZES IM GEWÄSSER .....</b>	<b>5</b>
---	----------

2.1 Morphologie .....	5
-----------------------	---

2.2 Ökologie .....	7
--------------------	---

2.3 Schwemmholtzanfall an wasserbaulichen Anlagen .....	7
---	---

<b>3 SCHWEMMHOLZAUFKOMMEN .....</b>	<b>9</b>
-------------------------------------	----------

3.1 Begriffe .....	9
--------------------	---

3.2 Eigenschaften.....	11
------------------------	----

3.2.1 Bestandteile und Grössenverteilung .....	11
--	----

3.2.2 Materialeigenschaften.....	11
----------------------------------	----

3.3 Schwemmholzmenge.....	12
---------------------------	----

3.3.1 Umrechnung Lockervolumen – Festvolumen (Auflockerungsfaktor) .....	12
--	----

3.3.2 Empirische Schätzformeln.....	13
-------------------------------------	----

3.3.2.1 Effektive Schwemmholzmenge .....	13
--	----

3.3.2.2 Schwemmholtzpotential .....	14
-------------------------------------	----

3.3.3 Untersuchung des Einzugsgebietes.....	15
---	----

<b>4 SCHWEMMHOLZTRANSPORT UND -ABLAGERUNG .....</b>	<b>17</b>
---	-----------

4.1 Transportprozess.....	17
---------------------------	----

4.2 Zeitpunkt des Transportes .....	17
-------------------------------------	----

4.3 Zerkleinerungsprozess .....	19
---------------------------------	----

4.4 Ablagerung .....	20
----------------------	----

4.4.1 Ablagerungen ohne Verklausungen .....	20
---	----

4.4.2 Verklausungen.....	21
--------------------------	----

<b>5</b>	<b>GEFAHRENBURTEILUNG.....</b>	<b>23</b>
5.1	Allgemeines .....	23
5.2	Verklausungswahrscheinlichkeit .....	24
5.2.1	Einleitung.....	24
5.2.2	Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Stämme .....	26
5.2.3	Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Wurzelstöcke .....	27
5.2.4	Vergleich Einzelstämme mit schubweise zugegebenem Holz .....	28
5.2.5	Ergebnisse und Empfehlungen.....	29
<b>6</b>	<b>MÖGLICHE MASSNAHMEN.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>UNTERHALTSMASSNAHMEN.....</b>	<b>33</b>
7.1	Einleitung.....	33
7.2	Beispiele für Unterhaltsmassnahmen .....	33
7.2.1	Unterhalt der Bäche in Sachseln .....	33
7.2.2	Unterhalt Gürbe.....	34
7.2.3	Unterhalt Riemenstaldnerbach .....	34
7.3	Fazit .....	34
<b>8</b>	<b>MASSNAHMEN ZUR SCHADLOSEN WEITERLEITUNG DES SCHWEMMHOLZES .....</b>	<b>35</b>
8.1	Einleitung.....	35
8.2	Brückenverschalungen.....	36
8.2.1	Reussbrücke Grund.....	36
8.2.2	Stauschild-Brücken .....	39
8.3	Bewegliche Brücken.....	42
8.4	Längsausrichtung des Schwemmhholzes vor Engstellen .....	45
<b>9</b>	<b>RÜCKHALT VON SCHWEMMHOLZ.....</b>	<b>49</b>
9.1	Rechenkonstruktionen .....	49
9.1.1	Rechen im Gerinne.....	49
9.1.1.1	Aufbau und Wirkungsweise des V-Rechens.....	50
9.1.1.2	Berechnung des Aufstaus .....	53
9.1.1.3	Bewährung in der Praxis .....	55
9.1.2	Holzrückhalt in Geschiebesammlern .....	56
9.1.2.1	Klassische Lösungsansätze .....	56
9.1.2.2	Rechenkonstruktionen in Geschiebesammlern .....	60

9.1.3	<i>Grundsätze für die Dimensionierung eines Rechens</i> .....	65
9.1.3.1	<i>Lastannahmen</i> .....	65
9.1.3.2	<i>Anprall Baumstamm</i> .....	67
9.1.3.2	<i>Kolk und Uferschutz</i> .....	67
9.1.4	<i>Fazit</i> .....	68
9.2	<i>Tauchwand</i> .....	69
9.2.1	<i>Tauchwand am Abschlussbauwerk eines Geschiebesammlers</i> .....	69
9.2.2	<i>Tauchwand in einem Geschiebeablagerungsplatz</i> .....	72
9.2.2.1	<i>Gürbe bei Wattenwil</i> .....	72
9.2.2.2	<i>Kelchbach in Naters</i> .....	73
9.2.3	<i>Fazit</i> .....	75
9.3	<i>Schwemmholtznetze</i> .....	76
9.3.1	<i>Historische Entwicklung</i> .....	76
9.3.2	<i>Aufbau</i> .....	76
9.3.3	<i>Anwendungsbereich</i> .....	77
9.3.4	<i>Beschreibung des Rückhaltevorganges</i> .....	77
9.3.5	<i>Wichtige Erkenntnisse</i> .....	79
9.3.6	<i>Fazit</i> .....	81
9.4	<i>Räumlich getrennter Holz- und Geschieberückhalt</i> .....	82
9.4.2	<i>Steinibach bei Hergiswil</i> .....	82
9.4.3	<i>Gürbe bei Wattenwil</i> .....	84
9.4.4	<i>Fazit</i> .....	85
9.5	<i>Selektiver Schwemmholtzrückhalt</i> .....	85
9.5.1	<i>Selektiver Rückhalt von Wurzelstöcken (enge Verhältnisse)</i> .....	86
9.5.2	<i>Selektiver Rückhalt zur Reduktion der Holzmenge (breite Gerinne)</i> .....	88
9.5.3	<i>Fazit</i> .....	93
<b>10</b>	<b>BEISPIELE</b> .....	<b>95</b>
10.1	<i>Holzrückhalterechen Gürbe</i> .....	95
10.1.1	<i>Problemstellung</i> .....	95
10.1.2	<i>Kenndaten</i> .....	96
10.1.3	<i>Lösung und Besonderheiten</i> .....	96
10.1.4	<i>Ausführung</i> .....	97
10.2	<i>Edisriederbach</i> .....	98
10.2.1	<i>Problemstellung</i> .....	98
10.2.2	<i>Kenndaten</i> .....	99
10.2.3	<i>Projekt</i> .....	99
10.2.4	<i>Ausführung</i> .....	100

---

10.3 Enziwigger.....	101
10.3.1 Einleitung.....	101
10.3.2 Kenndaten .....	101
10.3.3 Projekt.....	102
10.4 Chämpntnerbach.....	104
10.4.1 Problemstellung .....	104
10.4.2 Kenndaten .....	104
10.4.3 Projekt.....	105
10.4.4 Ausführung.....	106
10.5 Heitibach.....	108
10.5.1 Problemstellung .....	108
10.5.2 Kenndaten .....	108
10.5.3 Projekt.....	108
10.5.4 Ausführung.....	109
<b>11 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>113</b>
<b>12 REFERENZEN.....</b>	<b>119</b>
<b>13 DANKSAGUNG .....</b>	<b>125</b>

**Kurzfassung**

Bei Hochwasserereignissen verursacht Schwemmholz häufig Verklausungen an Brücken und Durchlässen. Durch die Einengung des Fliessquerschnittes können die Flüsse aus ihrem Bett ausbrechen und durch Überschwemmungen und Geschiebeablagerungen grosse Schäden anrichten.

An der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Projekte zum Thema Schwemmholz bearbeitet. Im Auftrage des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) werden diese verschiedenen Fallstudien im vorliegenden Bericht zusammengefasst.

Der Schwerpunkt des vorliegenden Berichtes liegt bei den Massnahmen zur schadlo- sen Weiterleitung und zum Rückhalt des Schwemmholzes. Das Anwendungsgebiet sind Wildbäche und steile Gerinne.

**Summary**

During floods driftwood often causes log jams at low bridges or culverts. These log jams induce a reduction of the flow section area, so that inundations and overbank sedimentation with a high potential for damage are likely.

A the Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) of the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) in Zurich a number of driftwood projects have been carried out during the last years. On behalf of the Swiss Federal Office for Water and Geology (BWG) the present report intends to summarize these different projects.

The focus of the report is on measures for a controlled transfer of the driftwood at the critical cross-sections and on driftwood retention measures in steep open channels.





## 1 Einleitung

Bei Hochwasserereignissen in Wildbächen entstehen die grossen Schäden häufig nicht nur durch die grossen Abfluss- oder Geschiebemengen. Oftmals kann auch das mitgeführte Schwemmholz zu Problemen führen, wie auch das Hochwasser im August 2005 eindrücklich gezeigt hat. Unter **Schwemmholz** versteht man das Holz, das während eines Hochwasserereignisses im Bach transportiert wird.

Der Holzeintrag in ein Gewässer hat verschiedene Quellen. Zum einen kann es sich dabei um Totholz handeln, welches infolge Sturm, Schneelast oder altersbedingtem Absterben in den Bach eingetragen wird. Eine andere Quelle sind grosse Holzlager im Uferbereich, die bei Hochwasserereignissen mitgerissen werden (Industrieholz). Zusätzlich kann es bei grossen Abflüssen zum Eintrag von Grünholz kommen. Dies geschieht, wenn Bäume infolge von Rutschungen oder Erosionen mitgerissen werden.

Bei Hochwasserereignissen verursacht Schwemmholz häufig Verklausungen an Brücken und Durchlässen (siehe Abb. 1). Dadurch können die betroffenen Fliessgewässer aus ihrem Bett ausbrechen und durch Überschwemmungen und Geschiebeablagerungen grosse Schäden anrichten. Ein weiteres Gefährdungsszenario stellen Schwallwellen infolge des Bruchs von Verklausungen dar. Durch den Anprall von Schwemmholz an Brücken und ufernahen Gebäuden können ebenfalls Schäden hervorgerufen werden.



Abb. 1: Holzverklausung an einer Brücke im Mündungsbereich des Schächen beim Hochwasserereignis im Jahr 1977 (Quelle: Amt für Tiefbau, Kanton Uri)

In der Vergangenheit wurde diese Problematik zwar erkannt, aber oft nur als „Anhängsel“ des Geschiebetransports und Geschieberückhalts behandelt. Erst grössere Schadensfälle in der jüngeren Vergangenheit, beispielsweise das Unwetter vom 15. August 1997 in Sachseln oder das Hochwasser vom 1. September 2002 an der Goldach (Abb. 2), haben die Schwemmholzproblematik verstärkt in den Vordergrund gerückt. Auch das Hochwasser im August 2005 hat uns wieder deutlich vor Augen geführt, dass bei Hochwasserereignissen immer mit Schwemmholz gerechnet werden muss.



*Abb. 2: Hochwasser 2002 an der Goldach im Kanton St. Gallen (Blick gegen Fliessrichtung) – vollständig verklauste Brücke, die Strommasten des Umspannwerkes übernehmen die Funktion eines Rückhaltereichens*

*(Quelle: Tiefbauamt St. Gallen)*

An der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der Eidgenössisch Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) wurden in den letzten Jahren verschiedene konkrete Projekte zum Thema Schwemmholz bearbeitet. Im Auftrag des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) werden diese verschiedenen Fallstudien im vorliegenden Bericht zusammengefasst und eine Synthese der Erkenntnisse präsentiert.

Der vorliegende Bericht fasst verschiedene Arbeiten (Fallstudien, Diplomarbeiten an der VAW und interne ergänzende Untersuchungen) zu folgenden fünf Modulen zusammen:

**A) Prozessverständnis**

Welches sind die massgebenden Mechanismen bei Verklausungen? Dazu wurden einfache Rinnenversuche auf rauher, fester Sohle durchgeführt und die hydraulischen Randbedingungen und die Zusammensetzung des Schwemmhholzes variiert.

**B) Erfahrungssammlung**

Literaturübersicht zu verschiedenen relevanten Themen und eine Umfrage bei ausgewählten kantonalen Ämtern und Kraftwerksbetreibern (*VAW 1999b*)

**C) Holz- und Geschieberückhalt**

Grundsätzliche Überlegungen zum kombinierten Holz- und Geschieberückhalt

**D) Auskämmen von Schwemmhholz**

Grundsätzliche Überlegungen zu den Möglichkeiten einer Trennung von Schwemmhholz und Geschiebe, d.h. eines Schwemmhholzurückhalts bei gleichzeitiger Weiterleitung des Geschiebes

**E) Schadlose Weiterleitung**

Grundsätzliche Überlegungen zu den Möglichkeiten einer schadlosen Weiterleitung des Schwemmhholzes unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus den Modellversuchen

Für den vorliegenden Bericht wurde ein anderer Aufbau gewählt, um die einzelnen Themengebiete für den Anwender übersichtlicher darzustellen.

Es wird zunächst einleitend auf die Bedeutung des Holzes im Gewässer (Kapitel 2), das Schwemmhholzaufkommen (Kapitel 3), den Schwemmhholztransport und Ablagerung (Kapitel 4) eingegangen. Kapitel 5 beinhaltet Aussagen zur Gefahrenbeurteilung. In Kapitel 6 wird eine Übersicht zu den möglichen Massnahmen gegeben. Das Kapitel 7 befasst sich mit Unterhaltsmassnahmen, Kapitel 8 mit Massnahmen zur schadlosen Weiterleitung des Schwemmhholzes und Kapitel 9 mit dem Rückhalt von Schwemmhholz. Im Kapitel 10 werden fünf ausgewählte Beispiele von realisierten Rückhaltmassnahmen präsentiert.

**Der Schwerpunkt dieses Berichtes liegt bei den Massnahmen zur schadlosen Weiterleitung und zum Rückhalt des Schwemmhholzes. Das Anwendungsgebiet sind Wildbäche und steile Gerinne.** Die Probleme mit Schwemmhholz in Seen wurden in unseren Untersuchungen nicht behandelt und sind daher auch nicht Bestandteil dieses Berichts.

Der vorliegende Bericht fasst den heutigen Stand des Wissens in Bezug auf die Probleme mit Schwemmhholz zusammen. Wie das Hochwasser 2005 gezeigt hat, sind noch längstens nicht alle Fragen abschliessend beantwortet. Der Umgang mit Schwemmhholz im Wasserbau ist auch weiterhin ein sehr aktuelles Thema.

## 2 Bedeutung des Holzes im Gewässer

Der vorliegende Bericht befasst sich hauptsächlich mit dem Aspekt der Gefährdung und Sicherheit im Zusammenhang mit Schwemmholz im Wildbachgebiet. Dabei werden die Probleme betrachtet, die aus der Sicht des Wasserbaus durch auftretendes Schwemmholz bei Hochwasserereignissen entstehen (Verklausungen von Brücken und deren Folgen, Anprall an Gebäuden etc.), wobei die Transport- und Ablagerungsprozesse im Vordergrund stehen, welche zum grössten Teil aus der Ingenieursicht betrachtet werden.

Schwemmholz in Gewässern ist aber auch ökologisch und morphologisch bedeutsam. Der Vollständigkeit halber werden diese Aspekte in den nächsten Abschnitten kurz beschrieben.

### 2.1 Morphologie

*Keller and Swanson (1979)* stellen bei einer Untersuchung von 5 Einzugsgebieten fest, dass in kleinen Einzugsgebieten (Bachlängen  $< 1.5$  km) das Holz nicht transportiert wird, sondern im Bach liegen bleibt, wie es eingetragen wurde. In mittलगrossen Einzugsgebieten (Bachlänge 1.5 bis 10 km) kommt es hingegen zu Umlagerungen des Holzes. Es bilden sich einzelne Holzansammlungen, welche die Morphologie, z.B. durch Änderungen des Sohlgefälles oder des Bachlaufes, entscheidend beeinflussen können. In grösseren Flüssen wirken die Holzansammlungen nicht mehr sohl- und strukturbildend, da sie das Abflussgeschehen nur unwesentlich beeinflussen. Das Holz liegt meist in Form von kleineren Ansammlungen entlang der Ufer verteilt, kann aber bei grösseren Abflüssen auch wieder mobilisiert werden.

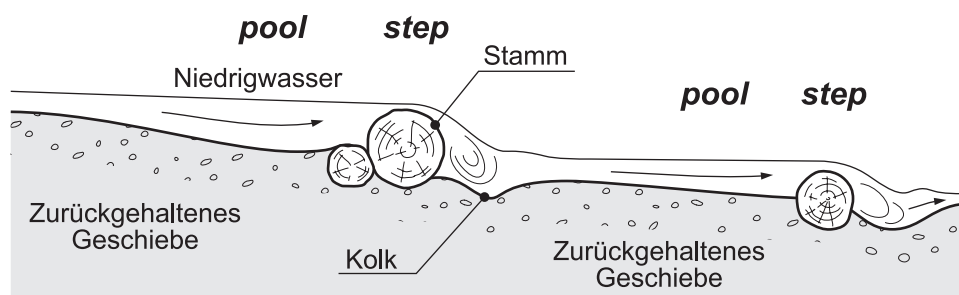


Abb. 3: Treppenbildung durch Totholz im Längsprofil

(nach Keller and Swanson, 1979)

Bei mittलगrossen Flüssen wird bei Verklausungen häufig eine Treppenbildung im Längsprofil beobachtet. Der Geschiebetransport wird unterbrochen, da das Geschiebe vor der Verklausung abgelagert wird. Solche verlandete Verklausungen sind sehr stabil. Durch unterstromige Auskolkungen können solche Strukturen jedoch destabilisiert



und zerstört werden. Bei kleineren Holzmengen können solche Stufen auch nur aus einzelnen Stämmen bestehen, die Morphologie ist dann vergleichbar mit „step and pool“ Strukturen (siehe Abb. 3). Dadurch verringert sich das Nettogefälle entscheidend.

Ausserdem erhöht im Bachbett liegendes Holz bei kleinen und mittleren Abflüssen die Rauigkeit (*Beschta, 1983*) und kann auch eine wichtige Schutzwirkung für die Ufer haben. Dies ist insbesondere bei Stämmen mit Wurzelstock der Fall, wenn sich die Wurzel oberstrom verkeilt und der Stamm sich unterhalb des Ufers entlang legt. So kann er Schutz vor direktem Strömungsangriff bieten und Erosion abmildern (*Keller and Swanson, 1979*). Dies entspricht dem Prinzip der so genannten Raubäume, mit denen im Hochwasserschutz Uferanbrüche oder unterkolkte Ufer stabilisiert werden können. Raubäume werden heute wieder vermehrt als Sofortmassnahme zur ersten Sicherung nach Hochwasserschäden eingesetzt. Nachfolgende Abb. 4 zeigt solche Raubäume an der Thur.



Abb. 4: Raubäume zum Uferschutz an der Thur unterhalb von Andelfingen (Blick in Fliessrichtung)

Bei grösseren Verklausungen im Bachbett kann ausserdem durch die Einengung des Querschnittes die Abflusskapazität verringert werden. Dies kann gegebenenfalls bei Hochwasserereignissen zu Kapazitätsproblemen führen.

## 2.2 Ökologie

Totholz im Ökosystem Bach ist ein wesentliches Strukturelement, das die Ausformung und Charakteristik von Fliessgewässern massgeblich mitbestimmt. Totholzstrukturen haben verschiedene Wirkungen (*Urbanek et al., 1999*):

- Morphologische Ausprägung des Gewässers
- Stoff- und Energiekreislauf
- Qualität, Quantität, Anordnung und Vernetzung der Fliessgewässer usw.

Durch die wasserbaulichen Eingriffe (Begradigungen, Kraftwerksbau etc.) wurde die im Gewässer vorhandene Menge an Totholz gegenüber dem unverbauten Zustand reduziert. Dies hat auch Auswirkungen auf die Tierwelt. Die Abnahme bzw. das Verschwinden einzelner Arten, die Verschiebung des Artenspektrums und eine generelle Reduktion der Bestände werden oft auf die reduzierte Totholzmenge im Gewässer zurückgeführt.

## 2.3 Schwemmholtzanfall an wasserbaulichen Anlagen

Schwemmholtz wird häufig an wasserbaulichen Anlagen zu einem Problem. Eine Umfrage unter Kraftwerksbetreibern und Behörden in der Schweiz lässt sich zu folgenden Aussagen zusammenfassen (*VAW, 1999c*):

- Die Kraftwerksbetreiber sind nach Artikel 41 des eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes bei Abflüssen bis zum Ausbauwasserabfluss verpflichtet, das vor den Turbineneinläufen ausgerechte Schwemmgut inklusive Schwemmholtz zu entnehmen und zu entsorgen. Nur bei grösseren Abflüssen kann das Schwemmholtz über das Wehr ins Unterwasser abgegeben werden.
- In den oberen Einzugsgebieten ist der Anteil der Stämme und Stammteile im ausgerechten Schwemmgut grösser. Weiter flussabwärts nimmt der Anteil des feinen organischen Materials (Blätter, Nadeln, Wasserpflanzen) zu. Am Hochrhein und an der Aare nach dem Thuner See beispielsweise besteht das an den Kraftwerken ausgerechte Schwemmgut zu etwa 75 % aus Holz, zu 20 % aus feineren organischen Bestandteilen und zu 5 % aus Müll.

- Der organische Anteil des Schwemmgutes fällt überwiegend im Sommerhalbjahr von Mai bis Oktober an. Dabei werden die Anlagen an Gebirgsbächen regelmäßig bei der ersten Schneeschmelze und bei etwa 10jährlichen Hochwasserereignissen innerhalb kurzer Zeit mit Schwemmholzmenen beaufschlagt. Mit wachsendem Einzugsgebiet verteilt sich der Schwemmholtzanfall auf einen längeren Zeitraum. Der zeitliche Verlauf des Schwemmholztransports und damit auch der Schwemmholtzanfall unterhalb von natürlichen und künstlichen Seen werden stark verzögert und gedämpft, wenn das Schwemmholz nicht ohnehin aus den Seen entnommen wird.



### 3 Schwemmholzaufkommen

#### 3.1 Begriffe

In der Literatur werden zahlreiche Bezeichnungen im Zusammenhang mit Holz in Wildbächen verwendet, die sich oft in ihrer Bedeutung nicht decken. In der nachfolgenden Tabelle 1 werden die einzelnen Begriffe erläutert.

Altholz	Totholz, das schon einige Zeit im Bach liegt und durch Zersetzungsprozesse eine verminderte Festigkeit aufweist
Feinholz	Vegetationsteile mit kleinen Abmessungen wie Laub, Gras
Lawinenholz	Holz, dass durch Lawinenereignisse ins Bachbett gelangt
Grünholz	Frisches Holz, dass erst während eines Hochwasserereignisses in den Bach eingetragen wird
Industrieholz	Holz aus Holzlagern oder forstlich genutztes Holz
Nutzholz	Siehe Industrieholz
Schadholz	Holz, das durch seine Lage oder Verfrachtung negative Auswirkungen auf die Umgebung zur Folge hat
Schwemmholz	Während eines Hochwasserereignisses im Bach transportiertes Holz ohne Berücksichtigung der Herkunft
Sturmholz	Holz, das durch Wind und Sturm ins Bachbett gelangt
Totholz	Im Bach liegendes, abgestorbenes Holz
Treibholz	Schwimmt auf Seen oder fällt als Rechengut am Kraftwerken an
Wirtschaftsholz	Siehe Industrieholz

Tab. 1: Begriffe und ihre Verwendung

(nach Rimböck, 2003)

Im Folgenden wird diese **Klassifikation des Schwemmholzes** vorgenommen:

- **Totholz**                      Darunter versteht man den Anteil des Holzes, das bereits abgestorben ist. Der Eintrag ist teils auf die Gewässerdynamik und Hangrutsche, teils auf die forstwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen. Ferner kann Holz auch durch Wind- und Schneebruch, Absterbeprozesse oder andere Belastungen in das Gewässer gelangen.

- **Grünholz** Darunter ist jenes Holz zu verstehen, dass erst beim Hochwasserereignis in den Bach gelangt. Dies kann entweder durch die Erosion der Ufer oder durch Hangrutschungen geschehen.
- **Wirtschaftsholz:** Ungünstig angelegte Holzlager von Waldbewirtschaftern, Sägereien oder Schreinereien können auch dazu führen, dass Holz während eines Hochwasserereignisses ins Gerinne gelangt. Ausserdem zählen dazu auch Konstruktionsteile von Holzbrücken oder Holzverbauungen in Bächen (beispielsweise Schwellen), die mitgerissen werden.

Die Aufteilung des Schwemmholzes auf die verschiedenen Herkunftsarten ist stark einzugsgebietsabhängig. *Bänziger (1989)* hat anlässlich der Ursachenanalyse des Hochwassers von 1987 für Goms (Kanton Wallis) die Herkunftsquellen des Schwemmholzes bestimmt. Insgesamt wurden rund 1'700 m<sup>3</sup> Holz abtransportiert. Die nachfolgende Abb. 5 zeigt exemplarisch für das Einzugsgebiet Goms, wie sich dieses Holz auf die verschiedenen Herkunftsorte verteilte.

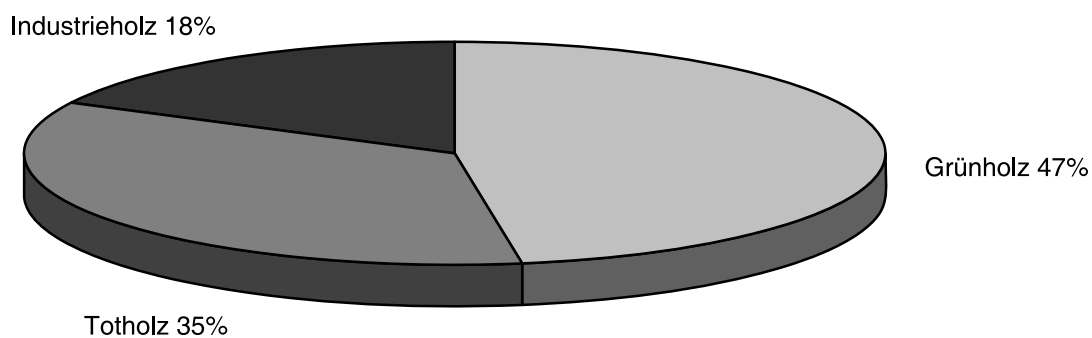


Abb. 5: *Herkunftsorte des Schwemmholzes gemäss einer Analyse nach dem Hochwasserereignis von 1987 in Goms, Kanton Wallis (nach Bänziger, 1989)*

Erste Untersuchungen zur Schwemmholzzusammensetzung beim Hochwasser 2005 ergaben, dass die Zusammensetzung ähnlich wie nach dem Hochwasser 1987 in Goms (siehe Abb. 5) war (*BUWAL und WSL, 2005*).

Es wurden insgesamt 20 Standorte im Berner Oberland, im Entlebuch, im Kanton Obwalden und im Prättigau untersucht. Dabei zeigte sich, dass Grünholz den grössten Anteil an der Schwemmholzmenge hatte, der Anteil an Industrieholz lag an fast allen untersuchten Orten unter 20 %. Beim Grünholz wurden grosse lokale Unterschiede festgestellt. Während der Anteil an einzelnen Orten bei nur 15 % lag, wurden an anderen Orten Grünholzanteile bis zu 90 % ermittelt. Eine erste provisorische Auswertung aller untersuchten Gebiete zeigt, dass der Grünholzanteil gesamthaft gesehen zwischen 50 und 70 % liegt. Aufgrund der bisher ausgewerteten Daten lässt sich sagen, dass beim Hochwasser 2005 der Anteil des Grünholzes grösser als der des Totholzes war (*BUWAL und WSL, 2005*).

Die Auswertung des Hochwassers 1987 in Goms und die ersten Analysen des Hochwassers 2005 zeigen, dass selbst bei sorgfältigem Gewässerunterhalt immer mit Schwemmholz zu rechnen ist.

## 3.2 Eigenschaften

### 3.2.1 Bestandteile und Grössenverteilung

Das Ausgangsmaterial des Schwemmholzes besteht nach *Zollinger (1983)* praktisch immer aus ganzen Bäumen. Diese werden aber zum Teil schon beim Transport ins Gerinne zerkleinert. Spätestens aber im Bachbett werden die Bäume in kürzester Zeit entastet und zerbrochen. Schwemmholz kann somit aus folgenden Teilen bestehen:

- Wurzelstöcke
- Ganze Stämme
- Äste
- Zweige
- Feine Bestandteile (Laub, Nadeln)
- Wirtschaftsholz (Bretter, Pfähle, Bohlen etc.)

### 3.2.2 Materialeigenschaften

Einige der Holzeigenschaften sind massgeblich verantwortlich für die Vorgänge beim Schwemmholztransport und bei der Schwemmholzablagerung.

Die **Reindichte** von Holz (porenfreie Holzmasse pro Volumen) variiert zwischen  $1'470 \text{ kg/m}^3$  (harzreiche Hölzer) und  $1'550 \text{ kg/m}^3$  (stark verkernte Hölzer). *Zollinger (1983)* gibt an, dass mit einem Durchschnitt von  $1'520 \text{ kg/m}^3$  gerechnet werden kann. Das porenfreie Grundmaterial eines jeden Holztyps schwimmt nicht im Wasser.

Die **Rohdichte** hängt vom Porengehalt und der Holzfeuchtigkeit ab und schwankt je nach Lage der Probe im Stamm. Sie nimmt von den Wurzeln über den Stamm bis zu den Ästen stetig zu. Im Mittel kann mit einer Rohdichte von  $500 \text{ kg/m}^3$  gerechnet werden. Je grösser die Rohdichte ist, desto grösser sind Elastizitätsmodul, Festigkeit, Härte und Abnutzungswiderstand, das heisst, desto weniger wird das Holz beim Transport zerkleinert.

Die **Feuchtigkeit** des Holzes kann bis zu 400 % betragen (bezogen auf die Trockenmasse). Im toten, trockenen Kernholz ist sie mit 60 bis 70 % kleiner als im lebenden Splintholz (bis zu 200 %). Die Schwimmfähigkeit des Holzes ist auf das Kernholz zurückzuführen. Das Splintholz schwimmt nicht bis sehr schlecht, da es wegen der Transportbahnen für die Flüssigkeiten sehr feucht ist.

An der Luft trocknet das Holz so lange aus, bis sich ein Gleichgewicht zwischen Holzfeuchte und Luftfeuchtigkeit einstellt. Dann sind die Schwimmigenschaften am besten. Die Frage, wie lange Holz im Wasser schwimmt, d.h. wie lange es dauert, bis sich ein Holzstück gesättigt hat und dann absinkt, kann nicht pauschal beantwortet werden.

*Zollinger (1983)* macht folgende Angaben für im Wasser liegende Holzstücke:

- Fichtenholz sinkt praktisch nie
- Kiefern- und Lärchenholz sinkt mit der Zeit möglicherweise
- Tannenholz sinkt im Vollaft nach 2 bis 4 Wochen, in trockenerem Zustand nach mehreren Wochen
- Buchenholz schwimmt nur selten an der Wasseroberfläche, im besten Fall schwebt es im Wasser.

Der Absinkvorgang von Schwemmholz kann in vier Phasen beschrieben werden:

- Schwimmphase, in der sich die Holzfasern mit Wasser zu sättigen beginnen
- Einseitige Sättigung des Holzstückes, so dass es auf der einen Seite eintaucht, auf der anderen aus dem Wasser ragt
- Schwebephase, in der das Holzstück unter Wasser schwebt
- Sinkphase, in der die Dichte mehr als  $1'000 \text{ kg/m}^3$  beträgt

Entscheidend für den Prozess der Zerkleinerung des Schwemmholzes während des Transportes ist die Festigkeit des Holzes. Diese hängt massgebend von der Feuchtigkeit des Holzes ab. Beim Austrocknen des Holzes wirken vier Zerstörungsprozesse: Rissbildung, Vermorschung, Tätigkeit von Pilzen und Insekten. **Allgemein kann gesagt werden, je länger der Zeitpunkt des Absterbens zurückliegt, desto geringer die Festigkeit des Holzes.** Das bedeutet, dass bei totem Holz die Festigkeit wesentlich geringer als ist bei frischem Holz.

### 3.3 Schwemmholzmenge

#### 3.3.1 Umrechnung Lockervolumen – Festvolumen (Auflockerungsfaktor)

In der Literatur wird die Schwemmholzmenge entweder als Volumen des lose angehäuftes Holzes (Lockervolumen  $V_L$  in  $[\text{m}^3]$ ) oder als Festvolumen  $V_F$   $[\text{fm}^3]$  angegeben. Der Auflockerungsfaktor  $a$  gibt das Verhältnis zwischen dem Volumen des lose angehäuftes Holzes und dem Holzvolumen in Festmetern an.

$$a = \frac{V_L}{V_F} \quad [1]$$

Der Auflockerungsfaktor  $a$  schwankt je nach Ablagerungsdichte des Holzes zwischen 2 (sehr kompakt) und 5 (locker).

Leider wird in vielen Publikationen nicht klar definiert, ob es sich bei der angegebenen Schwemmholzmenge um Lockervolumen oder Festvolumen handelt.

### 3.3.2 Empirische Schätzformeln

Durch die Auswertung vergangener Hochwasserereignisse stellen einige Autoren Zusammenhänge zwischen beobachteter Schwemmholzmenge und einzelnen Einzugsgebiets- und Gewässerparametern, wie beispielsweise Fläche des Einzugsgebietes oder bewaldete Gerinnelänge, auf. Dabei wird meist zwischen der **effektiven Schwemmholzmenge** (tatsächlich bei einem bestimmten Ereignis auftretende Holzmenge) und dem **Schwemmholzpotential** (Vorrat an Holz in direkter Umgebung des Baches, das bei Hochwasser mobilisiert werden kann), unterschieden.

#### 3.3.2.1 Effektive Schwemmholzmenge

*Rickenmann (1997)* hat die Daten zahlreicher Hochwasserereignisse in der Schweiz, Deutschland, Japan und USA ausgewertet. Als Ergebnis formuliert er zwei Beziehungen. Im ersten Fall gibt er die Schwemmholzmenge  $H$  [m<sup>3</sup>] in Abhängigkeit von der Fläche des Einzugsgebietes  $EG$  [km<sup>2</sup>] an:

$$H \approx 45 \cdot EG^{2/3} \quad [2]$$

Die Schwemmholzmenge  $H$  ist dabei als Volumen des lose angehäuften Holzes ( $V_L$ ) zu verstehen (vgl. Abschnitt 3.3.1).

Die zweite Beziehung stellt einen quantitativen Zusammenhang zwischen der transportierten Schwemmholzmenge  $H$  [m<sup>3</sup>] und der Wasserfracht  $V_W$  [m<sup>3</sup>] eines Hochwasserereignisses her, wobei die Daten von kleinen Einzugsgebieten sehr stark streuen.

$$H \approx 4 \cdot V_W^{2/5} \quad [3]$$

*Uchiogi et al. (1996)* leiten durch Auswertung verschiedener Hochwasserereignisse in Japan folgende Abhängigkeit der Schwemmholzmenge  $H$  [m<sup>3</sup>] von der beim Hochwasserereignis transportierten Feststofffracht  $F$  [m<sup>3</sup>] ab:

$$H \approx 0.2 \cdot F \quad [4]$$

*Rickenmann (1997)* bemerkt, dass die wenigen Beobachtungen aus dem Alpenraum ungefähr im Trend der japanischen Daten liegen.

### 3.3.2.2 Schwemmholtzpotential

Zollinger (1983) sowie Handschin und Duss (1997) geben an, dass es nicht möglich ist, Aussagen über das Schwemmholtzpotential eines Einzugsgebietes zu treffen, ohne dieses im Hinblick auf Waldzustand, Uferbewuchs, rutschgefährdete Hänge und Lawinenzonen eingehend zu untersuchen. Als Argument führen sie die grossen Unterschiede bisher beobachteter Schwemmholtzmengen bezogen auf die Fläche des Einzugsgebietes an.

Für den Fall, dass eine eingehende Untersuchung des Einzugsgebietes nicht möglich ist, empfehlen Uchiogi et al. (1996) folgende Abhängigkeit des Schwemmholtzpotentials  $H_{pot}$  [m<sup>3</sup>] von der Fläche des Einzugsgebietes  $EG$  [km<sup>2</sup>] und dem vorherrschenden Vegetationstyp im Einzugsgebiet:

$$H_{pot} \approx C \cdot EG \quad [5]$$

mit  $C = 1000$ : Maximalwert für Nadelwälder  
 $C = 100$ : Maximalwert für Laubwälder  
 $C = 10$ : Minimalwert für Nadel- und Laubwälder

Die höchsten Werte für die beobachtete Schwemmholtzmenge  $H$  aus den von Rickenmann (1997) gesammelten Daten in der Schweiz und den USA entsprechen ungefähr den mit der Beziehung für  $C = 100$  berechneten Schwemmholtzpotentialen  $H_{pot}$ .

Mit der Überlegung, dass weniger die Fläche des gesamten, sondern vielmehr die Fläche des bewaldeten Einzugsgebietes  $EG_W$  [km<sup>2</sup>] massgebend für das Schwemmholtzpotential ist, formuliert Rickenmann (1997) folgende Beziehung für  $H_{pot}$  [m<sup>3</sup>] (gültig für  $EG_W < 100$  km<sup>2</sup>):

$$H_{pot} \approx 90 \cdot EG_W \quad [6]$$

Für relativ kleine Einzugsgebiete kann das Schwemmholtzpotential  $H_{pot}$  [m<sup>3</sup>] auch in Abhängigkeit von der bewaldeten Gerinnelänge  $L_W$  [m] angegeben werden (gültig für  $L_W > 20$  km):

$$H_{pot} \approx 40 \cdot L_W^2 \quad [7]$$

*Duss (1999)* hat am Riemenstaldnerbach (Kanton Uri/ Schwyz) die Schwemmholzmengen anhand einer detaillierten Untersuchung des Einzugsgebietes hinsichtlich Waldzustand, Uferbewuchs, Rutschungen, Lawinenzonen und den zu erwartenden Gerinneprozesse abgeschätzt und den Werten gegenübergestellt, die mit den verschiedenen Schätzformeln ermittelt wurden (siehe Tab. 2):

	Schwemmholzmenge $H \text{ [m}^3\text{]}$		Schwemmholzpotential $H_{pot} \text{ [m}^3\text{]}$
Gleichung 2	400	Gleichung 5	2'700
Gleichung 3	880	Gleichung 6	700
Gleichung 4	660	Gleichung 7	1'250
<b>Detaillierte Untersuchung</b>	<b>375</b>	<b>Detaillierte Untersuchung</b>	<b>850</b>

Tab. 2: Vergleich der mit den Schätzformeln und mit einer detaillierten Untersuchung ermittelten Werte für Schwemmholzmenge und –potential am Riemenstaldnerbach (Kanton Uri/ Schwyz)

Insgesamt eignen sich die hier vorgestellten Schätzformeln nur mit Einschränkungen für die Bestimmung von Schwemmholzmenge und –potential, da sie alle nur einen Richtwert angeben können. Dabei erscheint eine Abschätzung des Schwemmholzpotentials anhand der bewaldeten Gerinnelänge auf jeden Fall sinnvoller als nur anhand der Grösse des Einzugsgebietes.

**Falls hohe Gefährdungspotentiale durch Schwemmholz bestehen, wird eine detaillierte Untersuchung der relevanten Flussabschnitte empfohlen.**

### 3.3.3 Untersuchung des Einzugsgebietes

Um die Schwemmholzmengen genauer abschätzen zu können, empfehlen *Duss (1999)* und *Rimböck (2003)* eine detaillierte Untersuchung des Einzugsgebietes. Dabei müssen verschiedene Einflussfaktoren wie Bewaldung, Waldzustand, Hangneigungen, Geologie, Gefälle des Baches, Abflussprozesse usw. berücksichtigt werden.

*Rimböck (2003)* beschreibt ein Verfahren, mit dem die Schwemmholzmenge gebietspezifisch abgeschätzt werden kann. Die „Luftbildbasierte Abschätzung des Schwemmholzpotentials“ (LASP, siehe Abb. 6) basiert auf einem digitalen Geländemodell des betreffenden Einzugsgebietes, das aus Luftbildern erstellt wird.

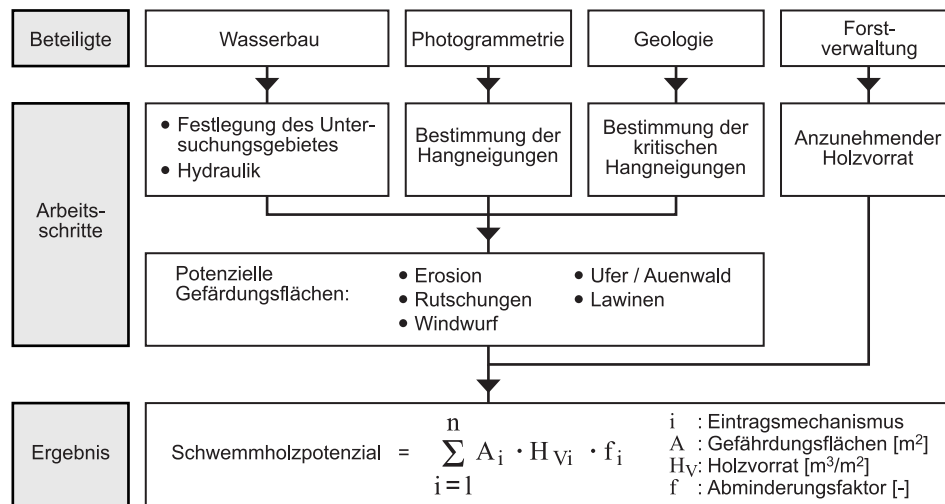


Abb. 6: Ablaufschema der luftbildbasierten Abschätzung des Schwemmholzpotentials (Rimböck, 2003)

Dabei werden die Ufer des betreffenden Bachlaufes und der Bach selber untersucht. Die Gefährdungsflächen werden getrennt für jeden Eintragsmechanismus (Erosion, Rutschung, Lawinen etc.) anhand verschiedener Kriterien ermittelt. Mit Hilfe des ermittelten Holzvorrates  $HV$  und eines Abminderungsfaktors  $f$  wird für jede Gefährdungsfläche ein Teilpotenzial ermittelt. Das Gesamtpotenzial ergibt sich durch die Aufsummierung der Teilpotenziale.

Rimböck (2003) beschreibt ein Pilotprojekt am Ferchenbach (Bayern), bei dem das LASP erfolgreich angewendet wurde. Dieses Verfahren zur Bestimmung des Schwemmholzpotentials ist jedoch aufwendig in der Durchführung und subjektive Einschätzungen lassen sich nicht vermeiden.



## 4 Schwemmholztransport und –ablagerung

Der vorliegende Bericht beschäftigt sich ausschliesslich mit Schwemmholzproblemen in Wildbächen und steilen Gerinnen.

### 4.1 Transportprozess

Der Transport von Holz in einem Wildbach kann rutschend, rollend, schwimmend oder im Wasser schwebend erfolgen. Nach *Handschin und Duss (1997)* und *Zollinger (1983)* wird Schwemmholz jedoch grösstenteils schwimmend transportiert. *Zollinger (1983)* gibt dafür folgende Gründe an:

- Im Regelfall besteht Schwemmholz vorwiegend aus leichtem Nadelholz und nur zu einem geringen Teil aus schwererem Laubholz (siehe Abschnitt 3.2.2).
- Holz muss, wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, einige Wochen ganz im Wasser liegen, um die Schwimmfähigkeit zu verlieren und abzusinken.
- Durch den erhöhten Schwebstoffanteil im Hochwasserfall nimmt die Wasserdichte zu. In Relation dazu wird das Schwemmholz leichter, das Schwimmvermögen steigt.
- In ungestörten Geschiebeablagerungen von Wildbächen findet man nur selten Holzeinschlüsse. Das lässt darauf schliessen, dass das Holz vor allem oberflächennah abtransportiert worden ist.

Während des Transportes sind die Hölzer meist in Fliessrichtung ausgerichtet, können aber mehrmals vorübergehend auch in andere Richtungen gedreht werden. Kürzere Hölzer werden öfter gedreht als längere. Bei Hochwasserereignissen mit genügend grossen Abflusstiefen können diese Drehungen nicht nur in der Ebene parallel zur Sohle, sondern auch in der Ebene senkrecht zur Flusssohle stattfinden.

Einen Sonderfall beim Transportvorgang stellen die Wurzelstöcke dar. Durch ihre grossen Abmessungen in allen Dimensionen schwimmen sie nur bei grossen Wassertiefen und werden somit meist rollend transportiert.

### 4.2 Zeitpunkt des Transportes

Bei zunehmendem Abfluss wird durch den ansteigenden Abfluss einzeln im Bach liegendes Holz mobilisiert. Dabei sind nach *Rimböck (2003)* die Form des Bachquerschnittes und die Lage des Holzes im Bach oder am Ufer ausschlaggebend für die abgeschwemmte Holzmenge. Das heisst, dass in eng eingeschnittenen Bächen schon bei einem geringen Anstieg des Abflusses viel Holz abtransportiert werden kann.

Grössere Holzansammlungen, beispielsweise Lawinenholz oder Material aus Rutschungen, werden erst bei grossen Abflüssen erfasst. Daher gibt *Zollinger (1983)* an, dass das meiste Schwemmholz während und kurz nach der Hochwasserspitze transportiert wird. Grosse Holzmassen in kurzer Zeit sind bei schnell ansteigenden Hochwasserganglinien zu erwarten. Der ungünstigste Fall ist dabei der Bruch einer Verklauung, durch die sich eine Wellenfront bilden kann. Diese kann das Gerinne vollständig ausräumen und eine grosse Holzmenge auf einmal mobilisieren.

Bei einer mittleren Holzdichte von  $500 \text{ kg/m}^3$  können glatte Stämme theoretisch mobilisiert und transportiert werden, wenn die Abflusstiefe  $h$  grösser ist als der halbe Stammdurchmesser  $d/2$ .  $d$  bezeichnet dabei den Stammdurchmesser. Die Untersuchungen von *Braudrick und Grant (2000)* geben eine Abhängigkeit des Transportbeginns von der Froudezahl  $Fr$  an

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad [8]$$

Dabei bedeuten  $v$  die mittlere Fliessgeschwindigkeit,  $g$  die Erdbeschleunigung und  $h$  die Abflusstiefe. Die Ergebnisse von *Braudrick und Grant (2000)* zeigen, dass bei Froudezahlen von  $Fr \approx 0.75$  (Gleichung 8) Abflusstiefen von mindestens  $0.75d$  für den Transportbeginn erforderlich sind. Bei grösseren Froudezahlen nimmt die für das Einsetzen des Transports erforderliche Fliesstiefe zu und beträgt bei  $Fr \approx 1.25$  rund  $1.25d$ .

Im Rahmen der Untersuchung am Riemenstaldnerbach (*VAW, 2001*) wurden auch Untersuchungen zum Transportverhalten von Einzelelementen unterschiedlicher Form und Abmessung durchgeführt. Das untersuchte Gerinne hatte ein Längsgefälle von 7 % und eine Sohlbreite von 7 m. Die seitlichen Böschungen waren 1:1 geneigt. Sohle und Ufer waren mit Steinsatz befestigt. Die Froudezahl war mit  $Fr \approx 2$  annähernd konstant. Betrachtet wurden sowohl Reinwasserabflüsse als auch Abflüsse mit Geschiebeführung.

Bei Reinwasserabflüssen wurden in der Bachschale des Riemenstaldnerbaches glatte Stämme ab einer Abflusstiefe von  $1.0d$  bis  $1.2d$  transportiert. Um beastete Stämme in Bewegung zu setzen, waren Abflusstiefen von  $1.2d$  bis  $1.5d$  erforderlich. Stämme mit Wurzelstöcken gelangten erst ab Abflusstiefen von  $1.7d$  in Bewegung (*Bezzola et al., 2002*).

Im Fall mit Geschiebeführung sind die für den Transportbeginn erforderlichen Abflusstiefen um rund 20 bis 30 % geringer als im Fall ohne Geschiebeführung, da die Geschiebekörner ein Rollenlager bilden, auf welchem das Holz schneller in Bewegung gerät. Ausserdem resultieren aus dem Anprall des Geschiebes zusätzliche Längskräfte.

Eine Abflusstiefe entsprechend einem Stammdurchmesser ist gemäss *Zollinger (1983)* auch erforderlich, damit Schwemmholz einzelne Hindernisse, wie beispielsweise die

Überfallsektion von Rückhaltesperren, passieren kann. Die Abdrift von losen Holzpaketen kann bei Abflusstiefen, die 2 bis 4 mal dem Stammdurchmesser entsprechen, erfolgen.

### 4.3 Zerkleinerungsprozess

Beim Transport findet eine laufende Zerkleinerung des Schwemmholzes statt. Nach *Zollinger (1983)* wird beispielsweise ein Baum, der mit Krone und Wurzelstock in ein Gerinne gelangt, oft innerhalb weniger Meter entastet, geschält und in 1 bis 5 m lange Stücke zerbrochen. In geringem Mass reduziert der Abrieb aber auch den Stammdurchmesser, der entscheidend für den Widerstand gegen Auseinanderbrechen ist. *Bänziger (1989)* folgert daraus, dass dickere Schwemmholzteile weniger stark zerkleinert werden als dünnere.

Wie schnell es zur Zerkleinerung kommt, hängt massgeblich von Gefälle, Rauheit, Liniennführung des Gewässers, Art und Qualität des Holzes und Länge der Transportstrecke ab. Nach *Bänziger (1989)* hat die zurückgelegte Höhendifferenz dabei den grössten Einfluss. Er leitet aus seinen Untersuchungen weiterhin ab, dass die Intensität der Zerkleinerung unmittelbar nach Transportbeginn am grössten ist und entlang des Transportweges abnimmt.

Während *Zollinger (1983)* anmerkt, dass nur selten Stämme mit Längen über 4 m auftreten, war in den Schwemmholzteppichen nach dem Hochwasser von 1987 die Häufigkeit von Stämmen über 4 m Länge relativ gross. Erst Stämme mit Längen über 10 m wurden wesentlich seltener beobachtet.

Eine von *Walter et al. (1996)* durchgeführte detaillierte Analyse an Gantnerbach (südlicher Seitenbach der Rhone bei Brig) ergab, dass 60 bis 80 % der Schwemmholzstücke Längen unter 3 m aufweisen und über 70 % des erfassten Totholzes im Durchmesserbereich 10 bis 24 cm liegen.

In der nachfolgenden Tab. 3 ist eine mögliche Einteilung der Schwemmholzklassen dargestellt. Am Riemenstaldnerbach (*VAW, 2001*) wurden die Holzklassenanteile durch Auswertung der Luftbilder der Hochwasserereignisse von 1977, 1981 und 1984 und mittels Feldaufnahmen bestimmt. Am Dorfbach Sachseln (*VAW, 1998a*) sind die Schwemmholzklassen durch eine Stichprobe an einem Holzdepot in Giswil nach dem Hochwasser von 1997 ermittelt worden.

Holzklasse	klein	mittel	gross
Länge $l$ [cm]	< 105	105 - 230	230 - 700
Durchmesser $d$ [cm]	< 10	10 - 30	30 - 45
<b>Sachseln</b>	10 %	30 %	60 %
<b>Riemenstaldnerbach</b>	15 %	45 %	40 %

Tab. 3: Schwemmh Holzklassen (in Volumenprozent) nach VAW (1998a und 2001)

Bei diesen Zahlenangaben muss aber immer berücksichtigt werden, dass die Grössenverteilung einer Schwemmh Holzablagerung massgeblich vom Ablagerungsort abhängt.

## 4.4 Ablagerung

### 4.4.1 Ablagerungen ohne Verklausungen

Bei sinkendem Abfluss und damit abnehmender Wassertiefe kann Schwemmh Holz in Zonen mit kleinen Abflusstiefen, wie flachen Ufern, Vorländern oder Aufweitungen liegen bleiben. Zollinger (1983) gibt an, dass die Ablagerung eines Holzstücks etwa dann anfängt, wenn die Wassertiefe etwa seinem Durchmesser entspricht. Verastetes Holz und Wurzelstöcke werden, bedingt durch ihre Form, eher abgelagert. Holz kann sich auch oberhalb von Hindernissen, wie vor grossen Steinen oder am Uferbewuchs, ablagern. Durch das abgelagerte Schwemmh Holz entsteht ein neues Hindernis, an dem sich weiteres Schwemmh Holz ablagern kann. Doch schon kleinere Veränderungen in Abfluss, Wassertiefe, Geschiebetrieb oder ein weiteres nachstossendes Schwemmh Holzstück können diese kleine Ansammlung wieder weiterbewegen, die dabei wieder in Einzelteile zerfallen oder weiter anwachsen kann.

In Flusskrümmungen wird das Schwemmh Holz durch die Strömung und die Zentrifugalkraft an die Kurvenaussenseite gelenkt. Je nach Uferbeschaffenheit kann sich das Holz dann dort ablagern (flache Ufer, grosse Rauigkeit) oder wird durch die grossen Fliessgeschwindigkeiten weiter transportiert (steile, glatte Ufer).

In Flussaufweitungen oder auf Schwemmkegeln von Wildbächen kann viel Schwemmh Holz abgelagert werden. Dies kann damit erklärt werden, dass sich in Flussaufweitungen und auf Schwemmkegeln oft verzweigte Gerinne ausbilden, in denen die Abflusstiefen so gering sind, dass das Holz abgelagert wird.

#### 4.4.2 Verklausungen

Verklausungen bilden sich hauptsächlich an engen Querschnitten, wie Schluchtstrecken, Felsvorsprüngen, in Flachstrecken mit geringer Fliessgeschwindigkeit oder bei starkem ufernahen Bewuchs. Auch an künstlichen Bauwerken, wie Brücken mit geringer Durchflusshöhe und Öffnungsweite oder Durchlässe können Verklausungen auftreten.

Eine Verklausung entsteht, wenn sich ein einzelnes sperriges Holzstück oder ein Wurzelstock in einer Engstelle verkeilt (*Bezzola et al., 2002*). Eine Zunahme des Abflusses, der Wassertiefe (Rückstau) oder der Anprall weiteren Holzes können unter Umständen dazu führen, dass verkeilte Hölzer unter der Brücke hindurch gepresst werden. Ist die Sohle im Brückenbereich unbefestigt, so besteht ausserdem die Möglichkeit, dass durch die Beschleunigung der Strömung um das verkeilte Holzstück ein Kolk entsteht, wodurch sich das Holz wieder lösen kann (*Bezzola et al., 2002*).

In den meisten Fällen jedoch, wenn das Holz stabil genug ist und nicht bricht und weiter genügend Schwemmholz zugeführt wird, kann der Abflussquerschnitt durch die Ansammlung weiteren Holzes verlegt werden und eine Verklausung entsteht.

Eine Verklausung führt durch die Verringerung des Abflussquerschnittes zu einem Rückstau. Die Fliessgeschwindigkeiten nehmen ab, wodurch der Geschiebetransport unterbrochen wird. Es bildet sich eine charakteristische Geschiebefront, die sich deltaförmig flussabwärts bewegt. Je nach Länge des Ereignisses und Geschiebezufuhr kann die Geschiebefront die Verklausung erreichen und diese einschütten. Dadurch wird die Stabilität der Verklausung noch zusätzlich erhöht.

Bei Verklausungen kann es durch den Aufstau des Wassers zu Ausuferungen und damit zu Überschwemmungen kommen. Dadurch wird der Ablagerungsprozess des Geschiebes noch verstärkt.

Die Mobilisierung und der Antransport sperriger Elemente bedingen relativ grosse Abflüsse. Daher ist die Gefahr einer Verklausung im Bereich der Spitze eines Hochwassers sowie zu Beginn dessen Abklingens am grössten (*Bezzola et al., 2002*).



## 5 Gefahrenbeurteilung

### 5.1 Allgemeines

Bei der Gefahrenbeurteilung eines Flusses muss neben dem Wasser und dem Geschiebe auch das Schwemmhholz berücksichtigt werden. Hier gilt es, für ein Hochwasserereignis mit bestimmter Eintretenswahrscheinlichkeit zu beurteilen, wie gross die Wahrscheinlichkeit für die Verklausung eines Brückenquerschnittes ist, um so letztlich die Wahrscheinlichkeit eines Gerinneausbruchs und der entsprechenden Folgen quantifizieren zu können (Bezzola und Lange, 2003).

Das generelle Vorgehen bei der Gefahrenbeurteilung ist in Abb. 7 schematisch dargestellt. In einem ersten Schritt wird für ein bestimmtes hydrologisches Szenario die zu erwartende Schwemmholzmenge anhand der Einzugsgebietscharakteristika und der zu erwartenden Gerinne- und Hangprozesse bestimmt (siehe auch Abschnitt 3.3). In einem zweiten Schritt erfolgt die Abschätzung der Abmessungen des transportierten Schwemmholzes aufgrund der Gerinnegeometrie. Aus diesen Angaben kann in einem dritten Schritt die Verklausungswahrscheinlichkeit mittels eines Vergleichs der Holzabmessungen mit der Geometrie des kritischen Querschnitts bestimmt werden.

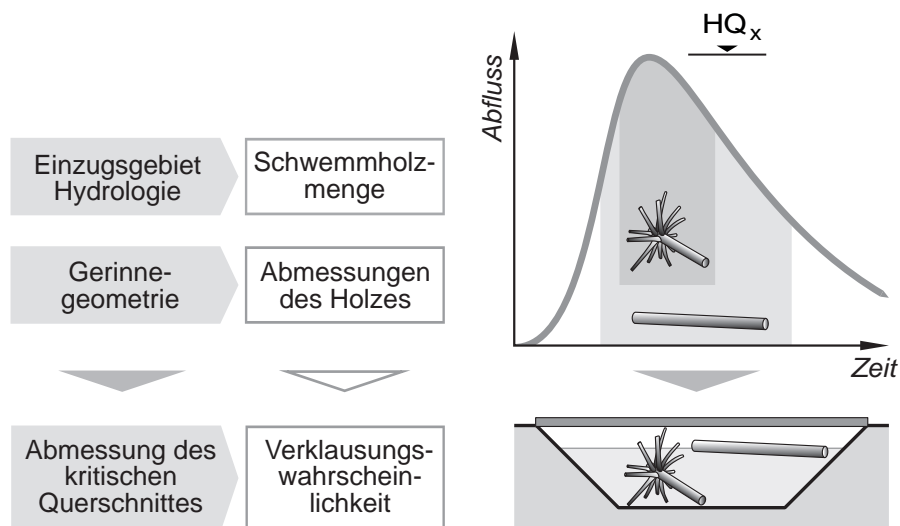


Abb. 7: Vorgehen bei der Gefahrenbeurteilung für ein gegebenes hydrologisches Szenario (Bezzola und Lange, 2003)

## 5.2 Verklausungswahrscheinlichkeit

### 5.2.1 Einleitung

Der Verklausungsvorgang wurde von *Gantenbein (2001)* in systematischen Rinnenversuchen detailliert untersucht. Die Ergebnisse der Arbeit sind in *Bezzola et al. (2002)* zusammengefasst.

Die systematischen Versuche wurden für Verhältnisse, wie sie für Wildbäche oder kleinere voralpine Flüsse charakteristisch sind, durchgeführt. Im Rechteck- oder Trapezgerinne war im unteren Drittel der Rinne eine Brücke angeordnet. Es wurden Verhältnisse zwischen der Sohlbreite  $B$  und der lichten Höhe  $H$  des freien Querschnittes unter der Brücke von 4:1, beziehungsweise von 2:1 getestet (siehe Abb. 8).

Für das Trapezgerinne wurde ausserdem auch die Situation mit vorspringenden Brückenwiderlagern untersucht, wobei unter der Brücke ein rechteckiger Gerinnequerschnitt verblieb (Abb. 8c).

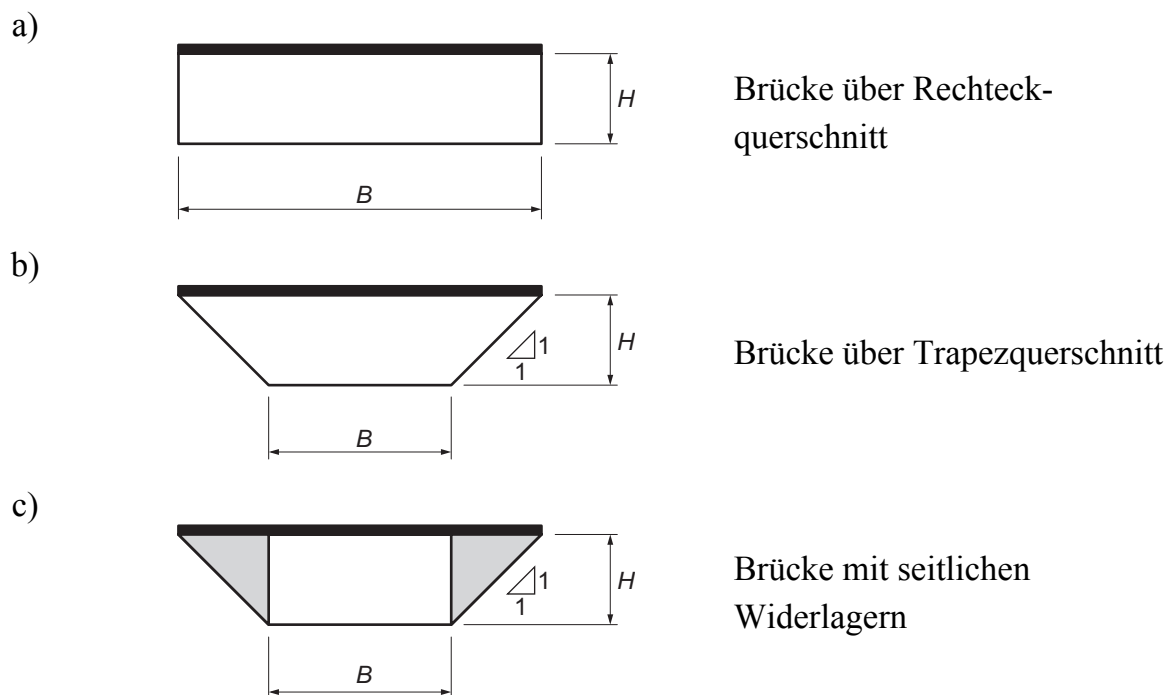
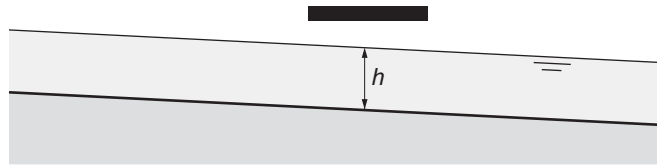


Abb. 8: Untersuchte Brückenquerschnitte

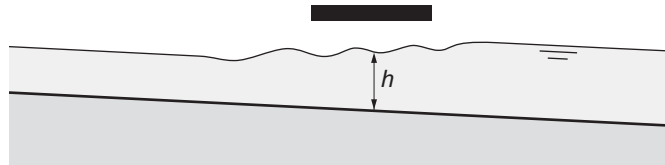


Folgende Konfigurationen im Bereich der Brücke (siehe auch Abb. 9) wurden erzeugt:

- a) durchgehend strömender oder schiessender Abfluss



- b) Wechselsprung im Bereich der Brücke



- c) Absturz im Oberwasser der Brücke

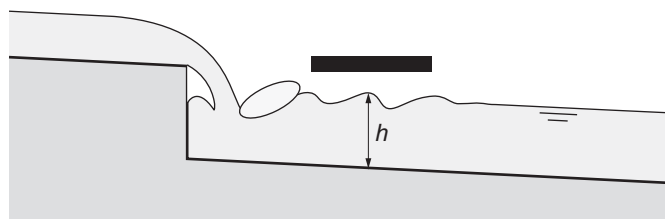


Abb. 9: Untersuchte Konfigurationen im Bereich der Brücke

Das Schwemmholz für die Modellversuche bestand einerseits aus geraden Aststücken unterschiedlicher Länge zur Nachbildung von Stammholz und zum anderen aus speziell hergestellten Stücken und verästelttem Holz zur Nachbildung von Wurzelstöcken. Die Abb. 10 zeigt die Formen der verwendeten Modellhölzer. Mit  $d$  wird der Stammdurchmesser, mit  $d_w$  der Durchmesser des Wurzeltellers bezeichnet.

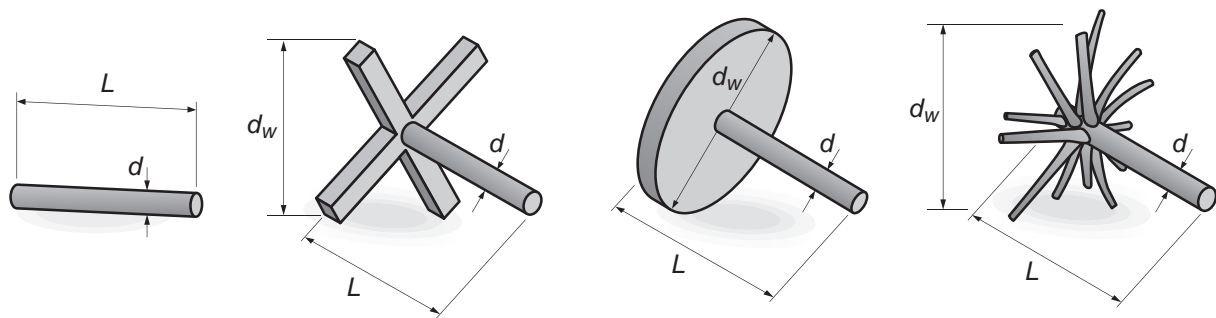


Abb. 10: Stamm- und Wurzelstockformen

In den Versuchen wurden Verhältnisse zwischen Abflusshöhe  $h$  zu lichter Höhe  $H$  im Bereich zwischen 0.5 und 1.0 geprüft. Die Froudezahlen  $Fr$  (Gleichung 8) variierten zwischen 0.3 und 1.1.

Anfangs wurden die verschiedenen Wurzelstöcke und Stämme einzeln zugegeben und beobachtet, ob sie sich im Querschnitt der Brücke verfangen. Anschliessend wurde eine bestimmte Holzmenge mit definierter Zusammensetzung schubweise zugegeben.

Die insgesamt über 1'200 Versuche wurden statistisch ausgewertet. So konnten die Wahrscheinlichkeit des Verhängens (Versuche mit Einzelelementen) und die Verklauungswahrscheinlichkeit (Versuche mit Holzmischungen) bestimmt werden.

Grundsätzlich gibt es folgende zwei **wichtige Ergebnisse**:

- Bei gegebener Kombination von Gerinnegeometrie und Fliesszustand ist die Wahrscheinlichkeit des Verhängens für ein bestimmtes Einzelelement oder eine bestimmte Holzmischung praktisch unabhängig von der relativen Abflusstiefe  $h/H$ .
- Bei gegebener Gerinnegeometrie und relativer Abflusstiefe  $h/H$  ist auch die Froudezahl  $Fr$  hinsichtlich der Verklauungswahrscheinlichkeit eher von untergeordneter Bedeutung.

## 5.2.2 Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Stämme

In Abb. 11 ist die Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Stämme in Abhängigkeit des Verhältnisses  $L/B$  dargestellt.  $L$  bezeichnet dabei die Länge des Stammes (siehe Abb. 10) und  $B$  die Breite des Brückenquerschnittes (siehe Abb. 8).

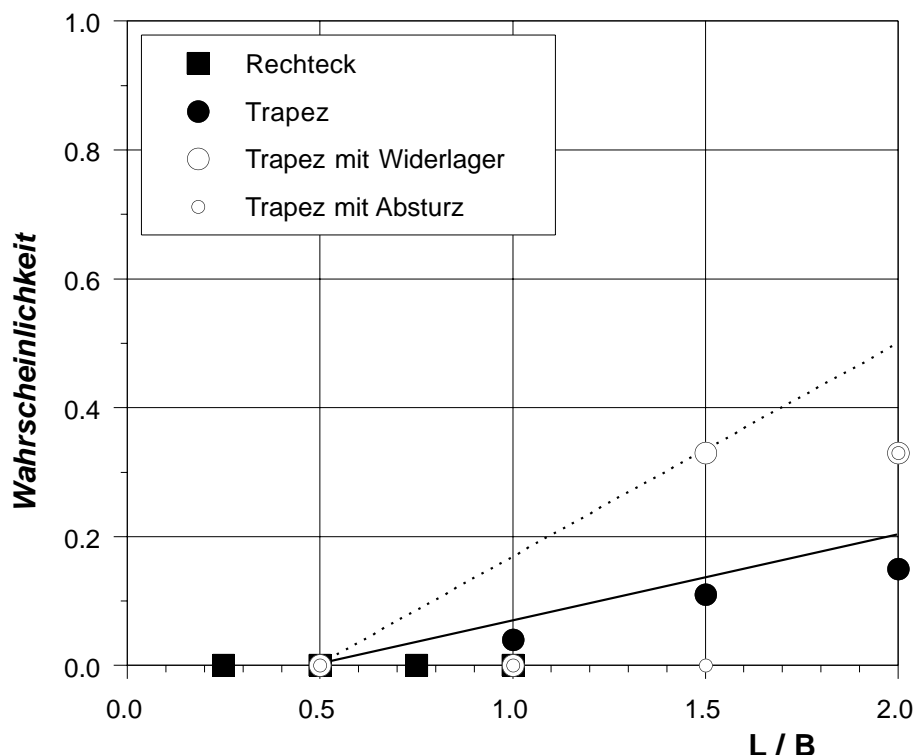


Abb. 11: Wahrscheinlichkeit des Verhängens von Einzelstämmen und Umhüllende für die Datenpunkte aus den Versuchen für das Rechteck- und Trapezgerinne (ausgezogene Kurve) sowie für die Versuche für das Trapezgerinne mit Widerlagern oder einem Absturz vor der Brücke

Für Rechteckprofile konnte nie ein Verhängen eines Stammes beobachtet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die maximale Stammlänge gerade der Sohlbreite entsprach. Die Versuche mit trapezförmigen Gerinnen zeigen, dass für  $L/B > 1$  die Wahrscheinlichkeit des Verhängens nicht mehr Null ist und in etwa linear mit  $L/B$  zunimmt. Beim Vorhandensein von vorspringenden Widerlagern erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für  $L/B > 1$  deutlich. Der Einfluss eines Absturzes vor der Brücke kann weniger klar beschrieben werden. Auch hier nimmt die Wahrscheinlichkeit des Verhängens für  $L/B > 1$  zu.

### 5.2.3 Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Wurzelstöcke

In Abb. 12 ist die Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Wurzelstöcke in Abhängigkeit des Verhältnisses  $d_W^*/H$  dargestellt.  $H$  bezeichnet die lichte Höhe des Brückenquerschnittes und  $d_W^*$  das geometrische Mittel der Abmessungen  $d_{Wmax}$ ,  $d_{Wmin}$  (maximale bzw. minimale Abmessung des Wurzeltellers) und  $L$  (Länge des Stammfortsatzes inklusive Wurzelteller):

$$d_W^* = (d_{Wmax} \cdot d_{Wmin} \cdot L)^{1/3} \quad [9]$$

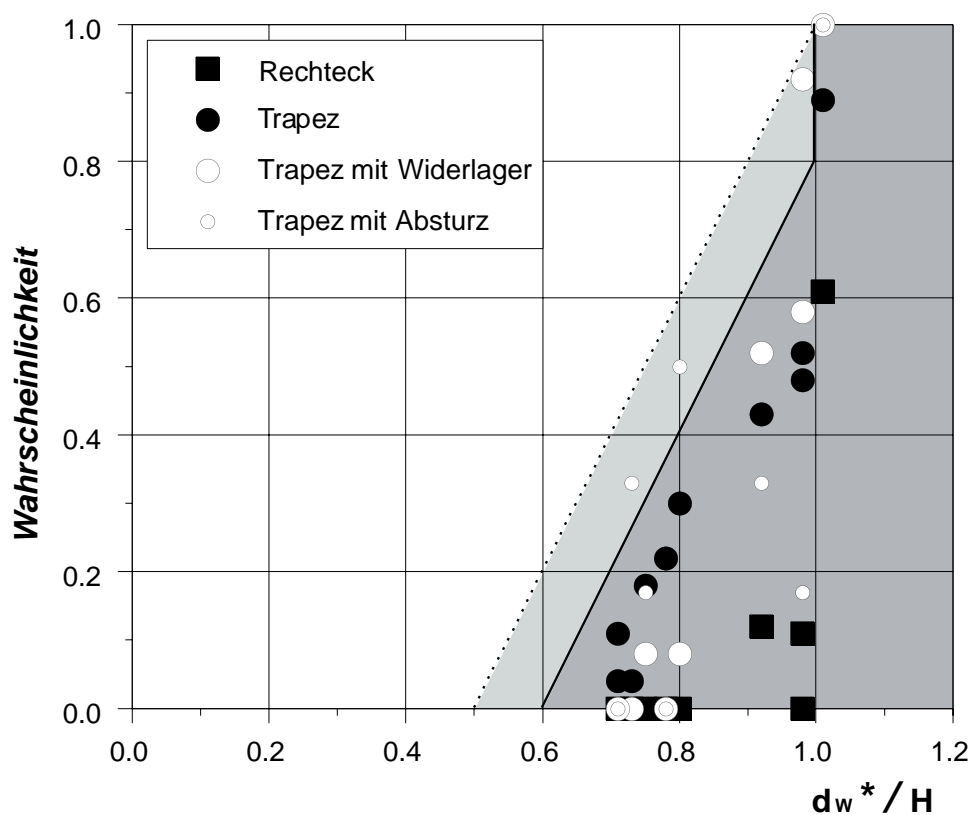


Abb. 12: Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Wurzelstöcke und Umhüllende für die Datenpunkte aus den Versuchen für das Rechteck- und Trapezgerinne (ausgezogene Kurve) sowie für die Versuche für das Trapezgerinne mit Widerlagern oder einem Absturz vor der Brücke (gestrichelte Kurve)

Beim Trapezgerinne nimmt die Wahrscheinlichkeit des Verhängens eines Wurzelstockes ab dem kleinsten untersuchten Verhältnis von  $d_w^*/H \approx 0.6$  markant zu (annähernd linear). Bei den Versuchen im Rechteckgerinne resultieren bei gleichem  $d_w^*/H$  etwas geringere Wahrscheinlichkeiten. Diese lassen sich aber auf die Versuchsdiskposition (glatte Sohle im Bereich der Brücke) zurückführen. Die Wahrscheinlichkeit des Verhängens wird durch Widerlager oder einen kurz vor der Brücke angeordneten Absturz erhöht.

#### 5.2.4 Vergleich Einzelstämme mit schubweise zugegebenem Holz

In Abb. 13 sind die Wahrscheinlichkeiten für das Verhängen von Einzelementen mit den Verklauungswahrscheinlichkeiten aus den Versuchen mit den Holzmischungen verglichen. Für eine nur aus Stämmen bestehende Mischung ist die Verklauungswahrscheinlichkeit deutlich grösser, als die Wahrscheinlichkeit des Verhängens eines einzelnen Stammes. Fällt Stammholz also schubweise an, so erhöht sich dadurch die Verklauungswahrscheinlichkeit beträchtlich. Am grössten ist die Verklauungswahrscheinlichkeit jedoch, wenn eine Holzmischung Wurzelstöcke enthält.

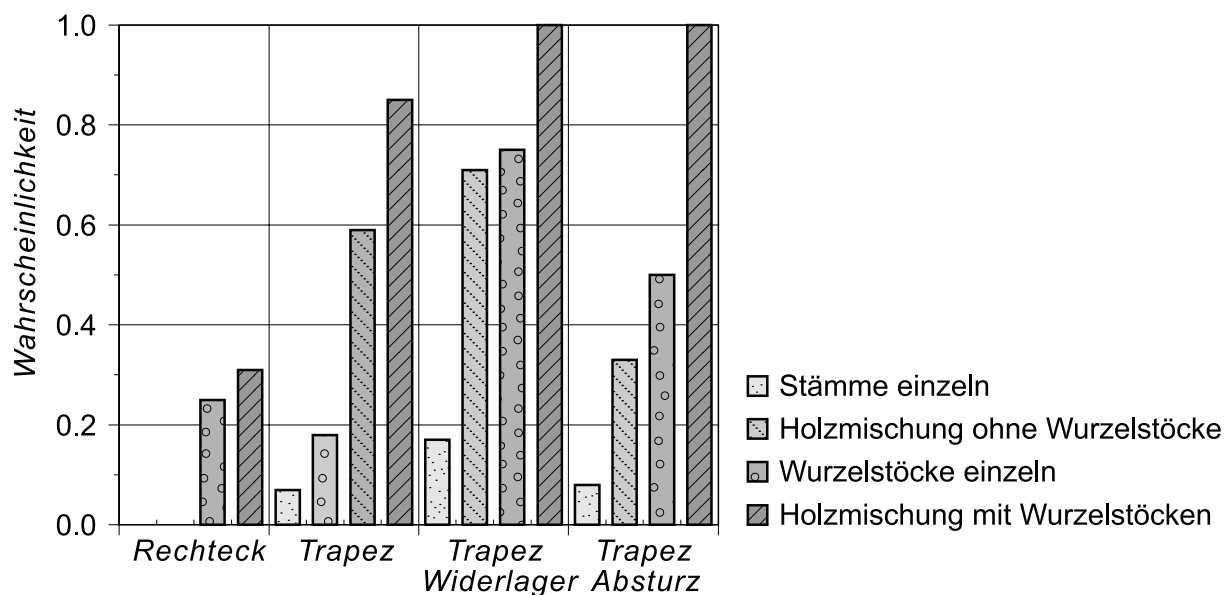


Abb. 13: Verklauungswahrscheinlichkeiten für Einzelemente und schubweise zugeführte Holzmischungen

### 5.2.5 Ergebnisse und Empfehlungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schwemmholzmenge primär für die Geschwindigkeit massgebend ist, mit der der Verklausungsprozess abläuft. Ob es überhaupt zu einer Verklausung kommt, ist jedoch in erster Linie von der Zusammensetzung des Schwemmholzes, das heisst von der Abmessung und Form der grössten Komponenten, abhängig.

Die Wahrscheinlichkeit des Verhängens für ein bestimmtes Einzelelement oder eine bestimmte Holz Mischung ist praktisch unabhängig von der relativen Fliesstiefe  $h/H$  (gültig für  $0.5 \leq h/H \leq 1.1$ ). Bei gegebener Gerinnegeometrie und relativer Abflusstiefe ist auch die Froudezahl  $Fr$  eher von ungeordneter Bedeutung.

Die kritischen Komponenten für eine Verklausung sind die Wurzelstöcke. Gegenüber glatten Stämmen ist die Wahrscheinlichkeit des Verhängens bei Wurzelstöcken signifikant höher.

Wenn das Stammholz schubweise anfällt, erhöht sich dadurch die Verklausungswahrscheinlichkeit gegenüber der Wahrscheinlichkeit des Verhängens einzelner Hölzer beträchtlich.

Widerlager an Brücken bewirken eine Erhöhung der Verklausungswahrscheinlichkeit. Dies ist auch bei Abstürzen vor Brücken der Fall, allerdings in geringerem Masse als bei Widerlagern.

Um die Verklausungsgefahr in Wildbächen zu verringern, lassen sich mit Hilfe der Versuchsergebnisse folgende **generelle Empfehlungen** aufstellen:

- Die Sohlbreite des Gerinnes sollte etwa der zweifachen zu erwartenden Stammlänge entsprechen.
- Die lichte Höhe unter einer Brücke sollte mindestens das 1.7fache der massgebenden Abmessung der zu erwartenden Wurzelstöcke betragen.



## 6 Mögliche Massnahmen

Bei der Massnahmenplanung zum Schutz vor Hochwasser gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Strategien, die in Abb. 14 zusammengefasst werden:

- Durch **passive Massnahmen** kann im gefährdeten Gebiet die gegenwärtige oder geplante Nutzung der Gefahr angepasst und damit das *Schadenspotential* gemindert werden.
- Durch **aktive Massnahmen** an der Gefahrenquelle beziehungsweise im gefährdeten Gebiet kann die vorhandene Gefahr entsprechend der gegenwärtigen oder geplanten Nutzung verringert und damit das *Gefahrenpotential* vermindert werden.

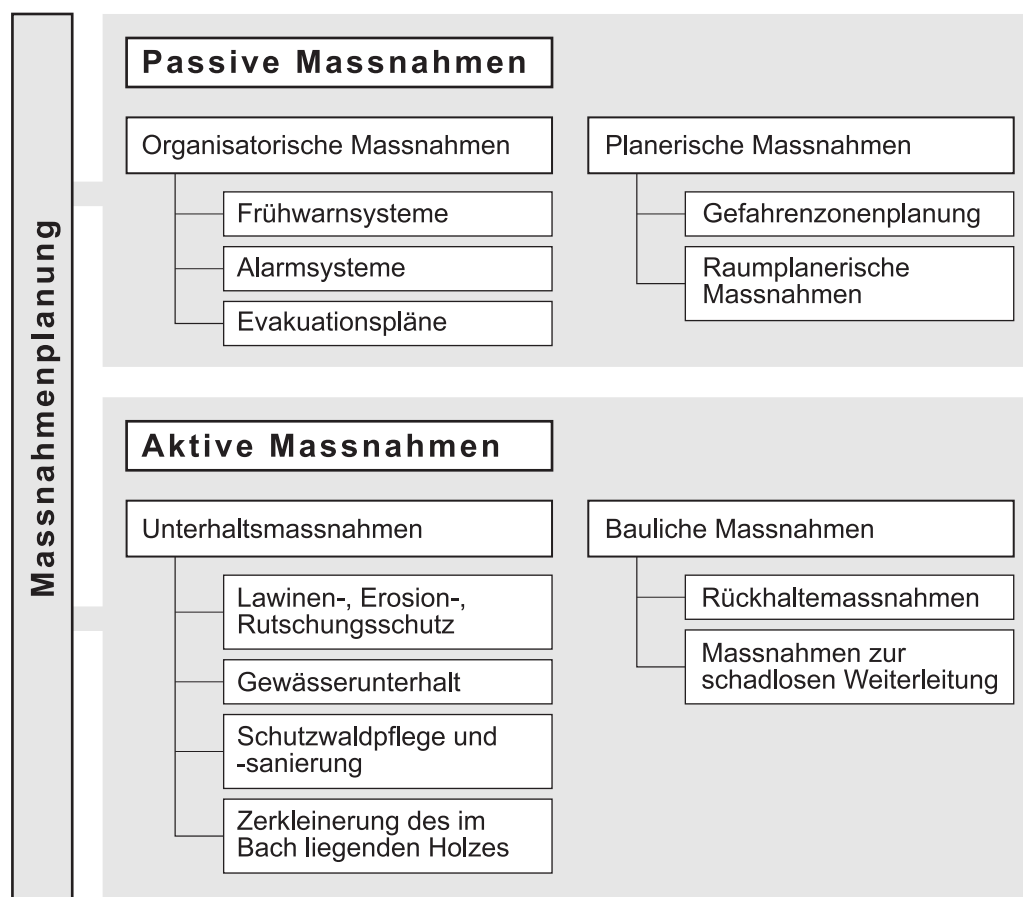


Abb. 14: Massnahmen zum Schutz vor Hochwasser (nach BWG, 2001), angepasst für Schwemmholtz

Nach BWG (2001) hat dabei der Schutz vor Naturgefahren in erster Linie durch präventive Massnahmen zu erfolgen. Dazu gehören der sachgerechte Unterhalt der Gewässer, die Schutzwaldpflege und raumplanerische Massnahmen. Doch durch die intensive bauliche Entwicklung in den letzten Jahren sind an vielen Orten Schutzdefizite entstanden, die sich nicht allein durch planerische Massnahmen beheben lassen.

Schutzbauten, Objektschutz und andere technische Massnahmen sind an diesen Stellen erforderlich. Da sich aber nicht alles und jedes schützen lässt, muss ein gewisses Restrisiko zugelassen werden.

Im vorliegenden Bericht wird auf die passiven Massnahmen nicht eingegangen. Die Unterhaltsmassnahmen werden nur kurz erwähnt. Der Schwerpunkt in diesem Bericht liegt bei den baulichen Massnahmen.



## 7 Unterhaltsmassnahmen

### 7.1 Einleitung

Mit Hilfe von Unterhaltsmassnahmen kann die potentielle Schwemmh Holzmenge reduziert werden. Dies ist eine der wirkungsvollsten Massnahmen, um der Gefahr, die vom Schwemmh Holz ausgeht, zu begegnen. Dazu zählen unter anderem:

- die Sicherung von Rutschhängen
- die Schutzwaldpflege und –sanierung
- Lawinenschutzmassnahmen
- Gewässerunterhalt

Unter **Gewässerunterhalt** ist einerseits das Entfernen von Büschen und Bäumen, welche das Durchflussprofil einengen, zu verstehen. So kann zum einen der Reduktion des Abflussquerschnittes und zum anderen der Möglichkeit, dass sich Schwemmh Holz verhängt, begegnet werden. Andererseits zählen zum Gewässerunterhalt auch die Entfernung von problemführenden Geschiebeherden, die Behebung kleinerer Schäden an den Verbauungen und die Entfernung von Schwemmh Holz aus dem Wirkungsbereich des Hochwassers (*Walther et al., 1996*).

Wenn das Holz in den Bach gelangt ist (beispielsweise durch Lawinen), kann durch Entfernen oder Zerkleinern des Materials (zum Beispiel Zersägen in 1 m lange Stücke) die Gefahr verringert werden (*Bänziger, 1989*). Allerdings zeigen die Erfahrungen, dass nicht nur Totholz, sondern auch Grünholz zum Problem werden kann.

### 7.2 Beispiele für Unterhaltsmassnahmen

#### 7.2.1 Unterhalt der Bäche in Sachsen

Gemäss Angaben des Kantons Obwalden (*Eicher, 2004*) sind die Unterhaltsarbeiten der Sachsler Bäche eine Daueraufgabe. In die Bäche gelangtes Holz wird in kleine Stücke zersägt. Neben der jährlichen Begutachtung werden alle Anlagen zusätzlich auch nach jedem grösseren Hochwasser kontrolliert. Zuständig für die Unterhaltsarbeiten sind die Wuhrgenossenschaft Dorfbach und die Wuhrgenossenschaft Edisrieder- und Ewilerbäche.

Der Unterhalt wurde früher in ähnlicher Weise durchgeführt wie heute. Allerdings besteht eine gewisse Gefahr, dass bei längeren Perioden ohne grössere Ereignisse die Risiken weniger ernst genommen werden.

### 7.2.2 Unterhalt Gürbe

Für den Unterhalt an der Gürbe ist der Wasserverband Obere Gürbe in Zusammenarbeit mit den Waldbesitzern zuständig (*Nussbaum, 2004*). Dieser wird regelmässig durchgeführt (mehrmals im Jahr). Zusätzlich wird nach grossen Ereignissen kontrolliert, ob sich durch Hangrutschungen Holz im Bach befindet. Ist dies der Fall, wird das Holz meist zersägt, um einen schadlosen Abtransport durch die Gürbe zu gewährleisten.

Der jährliche Aufwand für den Unterhalt ist also abhängig von den Rutschungsaktivitäten im Einzugsgebiet.

Der Unterhalt an der Gürbe wurde früher in ähnlicher Art und Weise durchgeführt wie heute. Nur hatte damals der Waldbesitzer ein eigenes Interesse daran, das Holz auszuräumen, da er es zumindest kostendeckend verkaufen konnte.

### 7.2.3 Unterhalt Riemenstaldnerbach

Nach Angaben von *Handschin (2004)* ist für den Unterhalt des Riemenstaldnerbaches die Einwohnergemeinde Sisikon zuständig. Da es sich um ein Grenzgewässer zwischen dem Kanton Uri und dem Kanton Schwyz handelt, müsste eine Unterhaltsvereinbarung bestehen. Diese ist zurzeit in Arbeit.

Die Erfassung der Unterhaltsaufträge am Riemenstaldnerbach geht auf das Jahr 1981 zurück. In dieser Zeitperiode (1981 – 2003) wurden insgesamt 37 Aufträge für Unterhaltsarbeiten ausgeführt. Dies ergibt einen Durchschnitt von 3 Aufträgen pro Jahr. Die Aufwendungen für diese Unterhaltsarbeiten (Räumungen und Zerkleinern des Holzes) zwischen 1981 und 2003 belaufen sich auf insgesamt Fr. 238'000, das heisst ca. 10'500 Fr./Jahr.

Vor Inkraftsetzung des Wasserbaugesetzes des Kantons Uri (30. November 1980) waren die Anstösser unterhaltungspflichtig. Für den Dorfbereich Sisikon bestand eine Wuhr-genossenschaft.

## 7.3 Fazit

Die Erfahrungen der vergangenen Hochwasserereignisse zeigen, dass auch bei sorgfältigem Unterhalt immer mit Schwemmholz zu rechnen ist. Da Analysen früherer Ereignisse zeigen, dass ein grosser Bestandteil des Schwemmholzes Grünholz ist, wird empfohlen, die grossen Stämme im Uferbereich zu fällen. Das Totholz sollte zerkleinert werden, um Verklausungen an kritischen Querschnitten vorzubeugen. Ein besonderes Augenmerk beim Unterhalt muss ausserdem auf die Flussabschnitte unterhalb von Rückhaltmassnahmen gelegt werden.

## 8 Massnahmen zur schadlosen Weiterleitung des Schwemmholzes

### 8.1 Einleitung

Eine grundlegende Möglichkeit zur Verringerung der Verklausungsgefahr ist, günstige Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass das Schwemmholz schadlos weitergeleitet wird.

Um eine Verklausung zu vermeiden, gibt es folgende **permanente** bauliche Massnahmen:

- Genügend grosser Gerinnequerschnitt unter Brücken (genügendes Freibord, Sohlabenkung), siehe auch Abschnitt 5.2.5
- Glatte Untersicht der Brücke und Verkleidung der Stirnseite der Brücke
- Gleichmässige Gestaltung des Gerinneprofils im Bereich der Brücke (keine seitlich vorspringenden Bauteile bzw. in den Gerinnequerschnitt hervorragende Widerlager)
- Längsausrichtung des Schwemmholzes an Engstellen (siehe Abschnitt 8.4)

Eine **temporäre** Lösung im Hochwasserfall ist der Einsatz eines Baggers im Bereich der betroffenen Brücke (siehe Abb. 15), um die Verklausung zu lösen und das Holz unter der Brücke hindurchzudrücken oder das Holz aus dem Gerinne zu entnehmen.



Abb. 15: Einsatz eines Baggers beim Hochwasser 2005 in Sarnen (Kanton Obwalden)

An dieser Stelle sei nochmals auf die Ergebnisse aus Kapitel 5 verwiesen. Um Verklausungen zu verhindern, wird die Erfüllung folgender Anforderungen empfohlen:

- Die Sohlbreite des Gerinnes sollte etwa der zweifachen zu erwartenden Stammlänge entsprechen.
- Die lichte Höhe einer Brücke sollte mindestens das 1.7fache der massgebenden Abmessung der zu erwartenden Wurzelstöcke betragen.

## **8.2 Brückenverschalungen**

Verklausungen an Brücken werden grundsätzlich begünstigt, wenn die Untersicht der Brücke nicht glatt ausgebildet ist (beispielsweise bei Fachwerk- oder Verbundbrücken) und ein Verhängen der Stämme und Wurzelstöcke durch hervorstehende Träger oder herunter hängende Werksleitungen begünstigt wird.

### **8.2.1 Reussbrücke Grund**

Die VAW hat in Modellversuchen verschiedene Verschaltungstypen für die Reussbrücke Grund (siehe Abb. 16) untersucht. Diese Autobahnbrücke der Gotthardstrecke zwischen Amsteg und dem Urner See wird sehr tief über die Reuss geführt. Es wird befürchtet, dass die Brücke bei Hochwasserereignissen eingestaut wird, so dass Schwemmholz an der Brückenkonstruktion anprallen und zu Verklausungen führen könnte.

Bei der Brücke Grund handelt es sich um eine Verbundbrücke mit 6 vollwandigen Hauptträgern sowie insgesamt 24 Querträgern aus Stahl. Abgestützt wird die Brücke durch zwei im Fluss angeordnete Pfeilerreihen zu je vier Pfeilern. Die VAW hat in Modellversuchen überprüft, wie durch eine Verkleidung der Brückenuntersicht die Wahrscheinlichkeit des Verhängens von Schwemmholz in der Brückenkonstruktion reduziert werden kann (VAW, 1998b).



Abb. 16: Reussbrücke Grund zwischen Amsteg und Silenen mit knappem Freibord

Die verschiedenen Verschalungstypen (siehe Abb. 17) wurden in Modellversuchen auf Eignung hinsichtlich eines schadlosen Weitertransportes des Schwemmholzes untersucht.

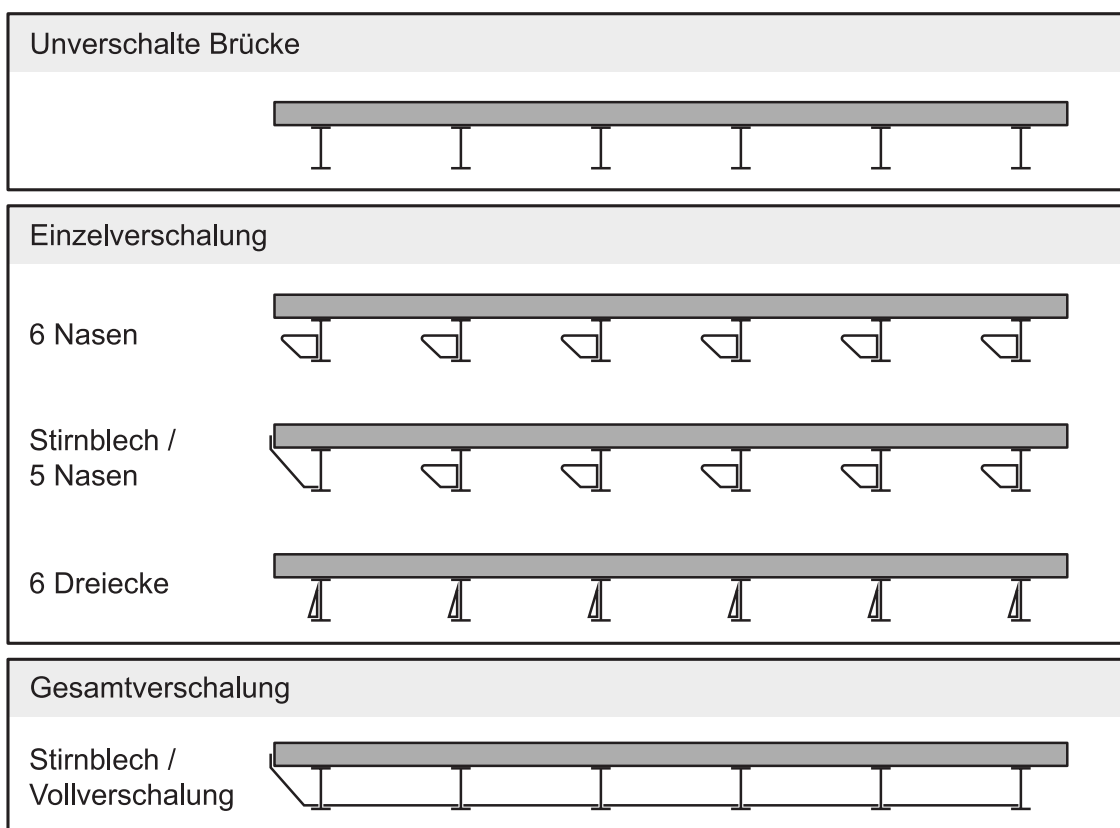


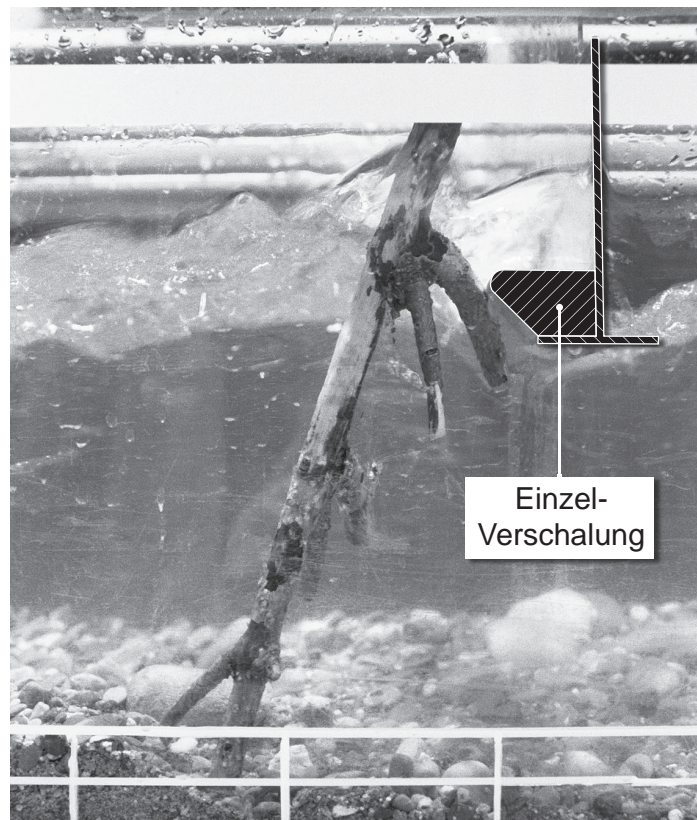
Abb. 17: Im Modellversuch untersuchte Verschalungstypen



Die Wirksamkeit einer **Gesamtverschalung** (Abb. 17) ist fast unabhängig vom Einstaugrad. Stämme, die bei kleinem Einstaugrad durch den Auftrieb von unten an die Verschalung gepresst und deshalb nicht weiterbewegt werden, stellen an und für sich kein Problem dar, da sie bei abklingendem Abfluss wieder fortgeschwemmt werden. Für grössere Einstaugrade verbessert sich die Wirkung der geschlossenen Verschalung, weil die grösseren Fliessgeschwindigkeiten das Holz in Bewegung zu halten vermögen.

Die Wirksamkeit einer **Einzelverschalungen** (Abb. 17) bezüglich Holzdurchgang nimmt bei grösserem Einstaugrad ab. Ist der Einstau gross, so schwimmt das Holz vor den verschalteten Trägern auf; die Stämme werden einzeln unter die Brücke gezogen. In der Regel geschieht dies, indem das eine Ende des Stammes am Hindernis ansteht, während das freie Ende durch die Strömung in die Tiefe gezogen wird. Kurzzeitig resultiert so für den Stamm eine annähernd vertikale Position, die ein Verkeilen zwischen Brücke und Flusssohle begünstigt (siehe Abb. 18). Unter günstigen Voraussetzungen kann es jedoch - bedingt durch eine lokale Auskolkung um das Holz - zum Weitertransport kommen.

Gesamtverschalungen sind bezüglich Holzdurchgang den Einzelverschalungen vorzuziehen, da sie weniger anfällig auf Verklausungen sind.

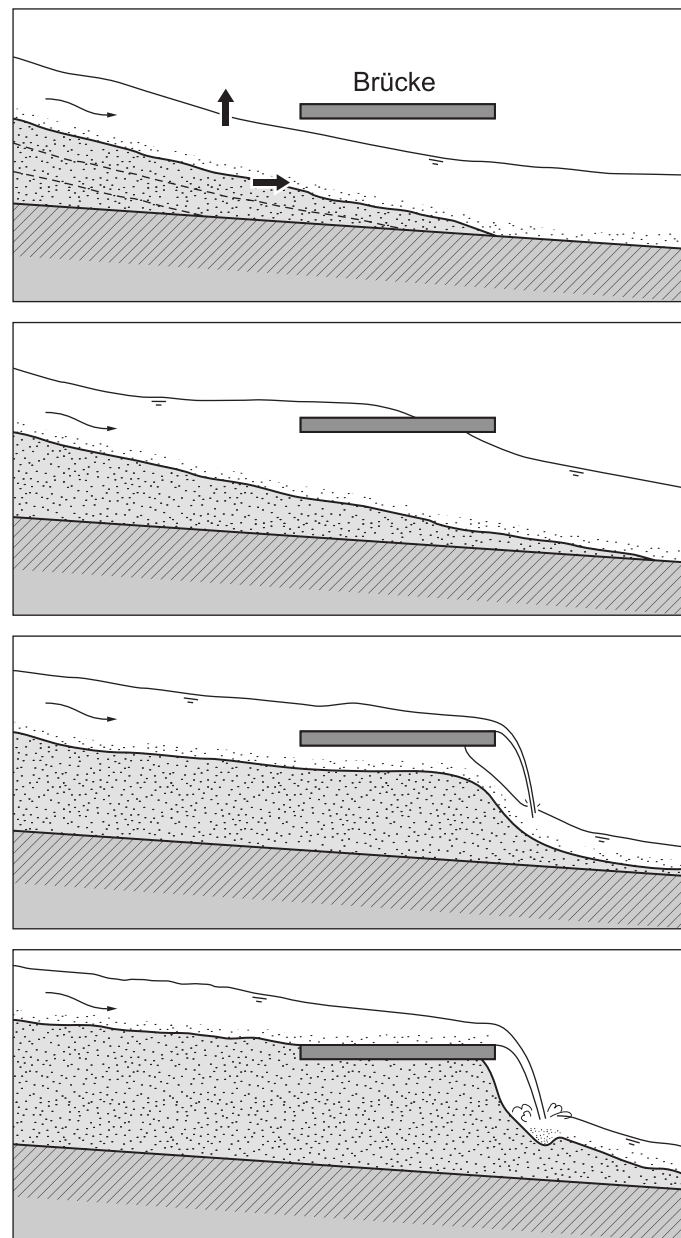


*Abb. 18: Zwischen Träger und Sohle verkeiltes Holz bei den Modellversuchen (Einzelverschalung, Typ Nase)*

Die vorgeschlagene Gesamtverschalung an der Reussbrücke Grund wurde bislang noch nicht umgesetzt. Erfahrungen mit Gesamtverschalungen gibt es nur begrenzt, jedoch existieren in Bezug auf die Weiterleitung von Schwemmholz bislang nur positive Beobachtungen. Für Einzelverschalungen von Brückenpfeilern gibt es bisher noch keine Erfahrungen.

### **8.2.2 Stauschild-Brücken**

Da Brücken das Bachbett grundsätzlich einengen, sollte die Durchlassöffnung unter einer Brücke grosszügig bemessen sein. Dies ist in der Praxis leider oft nicht der Fall. Ein Beispiel hierfür ist die Cimavilla-Brücke in Poschiavo. Beim Sommerhochwasser 1987 gab es Probleme an der zu tief liegenden Brücke. Die Durchlassöffnung war zu klein und wirkte als Drossel, was zu einer Verstopfung mit Geschiebe führte. Sobald der Fluss über die Brücke floss und dort seitlich ausbrach, verringerte sich seine Schleppkraft im Durchlass drastisch. Daher genügte die Kraft nicht mehr, um das anfallende Geschiebe weiter zu transportieren. Das Geschiebe lagerte sich vor und im Durchlass ab und verstopfte denselben in kurzer Zeit (*Vischer und Bezzola, 2000*). Die nachfolgende Abb. 19 zeigt diesen Verstopfungsprozess einer Brücke durch Geschiebeablagerungen schematisch.



*Abb. 19: Schematische Darstellung der Schliessung eines Brückenquerschnittes durch Geschiebeablagerungen (nach Bezzola et al., 1994)*

Im Rahmen von Sofortmassnahmen wurde die Brücke um rund einen Meter angehoben. Ausserdem wurde das flussaufwärtige Brückengeländer als Stauschild aus Beton ausgebildet (siehe Abb. 20). Dieser zwingt das Hochwasser durch den Brückendurchlass und verhindert damit eine Überflutung der Brücke sowie eine Verstopfung mit Geschiebe. Diese Lösung erfordert aber auch eine Erhöhung der seitlichen Ufermauern, denn es muss verhindert werden, dass das Wasser die Brücke seitlich umströmt. Ausserdem ergibt sich eine Zusatzbelastung durch den Impuls des Wassers und den Staudruck, der bei der Brückendimensionierung beachtet werden muss.



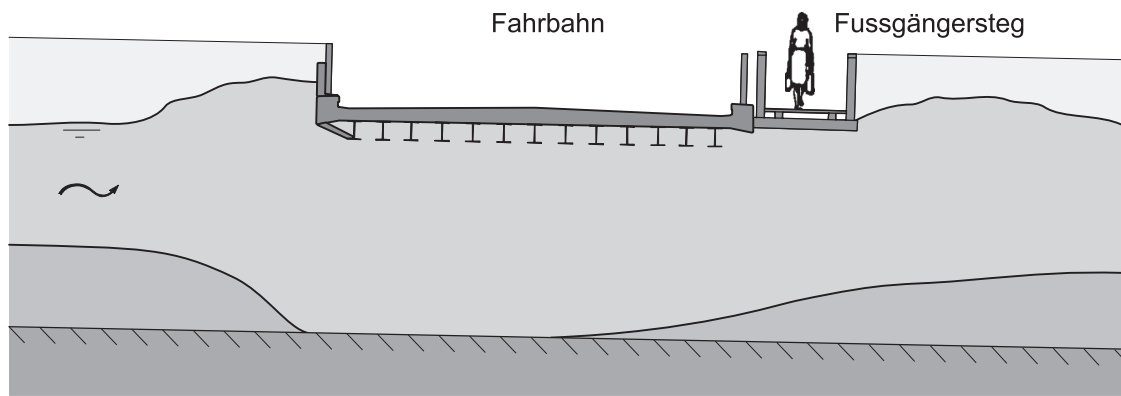


Abb. 20: Cimavilla-Brücke mit Stauschild

(Vischer und Bezzola, 2000)

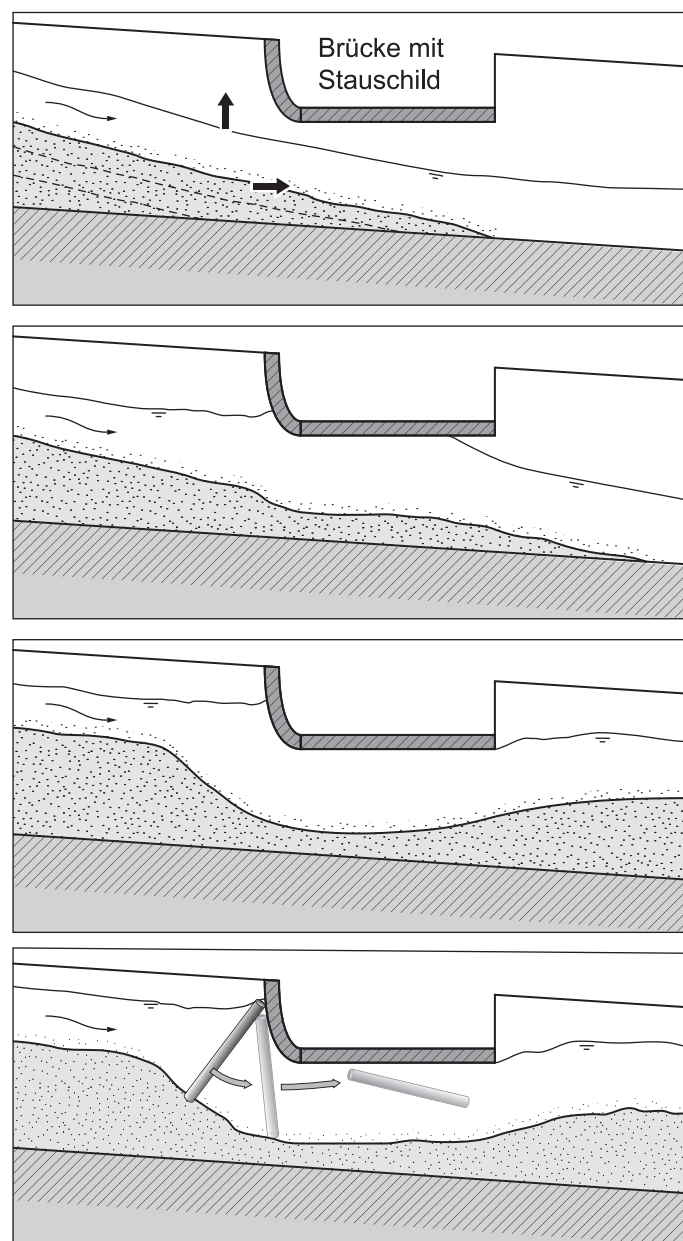


Abb. 21: Selbsträumung eines Brückenquerschnitts - Prinzipskizze

Bei den Modellversuchen für die Cimavilla-Brücke, wurden auch Versuche mit erheblicher Holzzufuhr durchgeführt. Sie zeigten, dass einzeln auf die Brücke zutreibende Äste und Stämme durch den unter der Brücke beschleunigten Abfluss weiter transportiert werden. Stark verästeltes Holz oder auch grosse Gruppen von Hölzern können den Brückenquerschnitt nur noch teilweise passieren. Das vor und unter der Brücke verklemmte Holz verkleinert den Abflussquerschnitt. Dies wiederum verstärkt aber den Düseneffekt und die Selbsträumung des übrigen Querschnitts. So bleibt ein genügend grosser Abflussquerschnitt frei (*Jäggi und Abegg, 1993*).

Diese Selbsträumung funktioniert nur, wenn unter dem Brückenquerschnitt Kolkungen möglich sind und sich der Brückenquerschnitt sicher nicht vollständig verlegt (siehe Abb. 21).

### 8.3 Bewegliche Brücken

Eine weitere Möglichkeit, die Verklausungsgefahr zu minimieren, ist die gezielte Vergrösserung des Durchflussprofils während eines Hochwasserereignisses. Dabei hat sich der Einsatz beweglicher Brücken bewährt. Bei **Hubbrücken** wird die Brücke temporär angehoben und somit der Abflussquerschnitt vergrössert. Nachteil bei dieser Lösung ist, dass eine temporäre Verkehrsunterbrechung in Kauf genommen werden muss.

Ein Beispiel für eine Hubbrücke ist die nach dem Hochwasser von 1993 umgebaute Brücke über die Saltina in Brig (siehe Abb. 22). Die Hubhöhe beträgt 2.80 m und die Hubzeit 2.5 Minuten. Die Hubkraft von 1'500 kN wird durch ein Gegengewicht in Form eines Wasserbehälters aufgebracht. Steigt die Saltina auf eine bestimmte Kote an, füllt sie den Behälter und hebt damit die Brücke gleichsam selber an. Aus Sicherheitsgründen kann der Behälter aber auch noch von einem benachbarten Reservoir sowie vom Netz der Briger Wasserversorgung gefüllt werden (*Vischer und Bezzola, 2000*).



*Abb. 22: Hubbrücke in Brig, in Normallage (Blick gegen Fliessrichtung)*

Die Hubbrücke in Brig wurde schon im Ernstfall getestet. So wurde beispielsweise beim Hochwasser im Oktober 2000 die Brücke angehoben, so dass die Saltina schadlos abfließen konnte (siehe auch Abb. 23).



*Abb. 23: Angehobene Hubbrücke in Brig beim Hochwasser im Oktober 2000 (Blick in Fliessrichtung)*  
(Quelle: A. Burkard, Brig-Glis)



Eine weitere Möglichkeit sind **Klappbrücken**. Ein Beispiel hierfür ist die Brücke über den Wildbach Ravoire in Pontamafrey, Savoien (Frankreich). Diese wird bei Murgängen hochgeklappt, um den Abflussquerschnitt freizuhalten.



*Abb. 24: Klappbrücke in Pontamafrey (Frankreich)*

Auch **temporäre Brücken** können eine Lösung sein, um Verklausungen zu verhindern. Eine Fussgängerbrücke über den Flaz bei Pontresina im Engadin steht nur im Winter zur Verfügung (siehe Abb. 25). Sie befindet sich im Hochwasserprofil des Flusses und wird jeweils im Frühjahr vor Beginn der Hochwassersaison entfernt und im Herbst wieder eingesetzt. Um die Konstruktion möglichst leicht zu halten, wurde sie aus glasfaserverstärktem Kunststoff erstellt. Der Ein- und Ausbau lässt sich daher mit einem Pneukran bewerkstelligen (Keller, Künzle und Wyss, 1998).



*Abb. 25: Temporäre Brücke über den Flaz bei Pontresina*

#### **8.4 Längsausrichtung des Schwemmholzes vor Engstellen**

Schwemmholz ist beim Transport im Fluss im Normalfall längs ausgerichtet. Durch ungünstige Situationen, beispielsweise Abstürze, Vorsprünge oder ähnliches, kann es dazu kommen, dass die Stämme ungeordnete Bewegungen vollführen. An Engstellen muss dann vermieden werden, dass einzelne Holzstücke an einer Stelle hängen bleiben, sich zu drehen beginnen und dann an einer zweiten Stelle anstossen und sich verkeilen.

Eine Massnahme für ein gezieltes Ausrichten des Schwemmholzes ist der so genannte **Gleichrichter**. Dies ist ein frei stehender Pfeiler vor einer Engstelle.

Getestet in Modellversuchen und später auch realisiert wurde solch ein Gleichrichter für den Umleitstollen Campo Vallemagia, wo das Verklauungsrisiko minimiert werden sollte (VAW, 1991). Der Gleichrichter bewirkt, dass quer schwimmende Hölzer mit einem Ende am Pfeiler anschlagen und sich durch die Strömung automatisch in Längsrichtung ausrichten.

Abb. 26 zeigt eine Bildabfolge eines quer ankommenden Stammes im Modellversuch. Durch den Gleichrichter kann das Holzstück den kritischen Einlaufbereich und auch den Stollen ohne Probleme passieren.





*Abb. 26: Ausrichtung eines Holzstammes am Gleichrichter Campo Vallemagia, Bilder aus den Modellversuchen (VAW, 1991); Fliessrichtung von links nach rechts*

Untersucht wurde ausserdem die Wirkungsweise des Gleichrichters beim Anschwemmen eines kompakten Holzteppichs. Es wurde festgestellt, dass der Gleichrichter eine Lockerung des Holzteppichs und eine zeitlich dosierte Weitergabe der Stämme an das Unterwasser bewirkt (Abb. 27).



*Abb. 27: Auflockerung eines Holzteppichs am Gleichrichter Campo Vallemagia, Bilder aus den Modellversuchen (VAW, 1991); Fliessrichtung von links nach rechts*

Bei grossem Holzanfall kann es trotzdem auch zu einer Barrierenbildung im Bereich des Gleichrichters kommen. Diese beginnt, sobald sich ein längerer Stamm zwischen Gleichrichter und Trennpfeiler festklemmt (siehe Abb. 28). So ist es möglich, dass solch eine Holzbarriere den gesamten Fliessquerschnitt blockiert. Trotzdem ist der Ab-



transport des Wassers weiterhin gewährleistet, sofern eine bewegliche Sohle eine Kolkbildung unter dem Holzteppich erlaubt (vgl. Abschnitt 8.3). Während also im Stolleneinlauf eine Barrierenbildung fatale Auswirkungen haben kann und zur Verstopfung des Abflussquerschnittes führt, ist dies bei einer Barrierenbildung im Bereich des Gleichrichters nicht der Fall. Ausserdem ist eine Intervention, zum Beispiel um die Holzbarriere nach einem Ereignis zu zerkleinern, im Flussbett wesentlich einfacher als im geschlossenen Stollenbereich.

Die Modellversuche zeigten ausserdem, dass die Form des Gleichrichters für die Wirkungsweise eine untergeordnete Rolle spielt. Als Nachteil des Gleichrichters ist der Platzbedarf zu nennen.

Die Umleitung bei Campo Vallemagia ist seit 1996 in Betrieb (siehe Abb. 28). Seit der Realisierung ist es in diesem Einzugsgebiet zu keinen grösseren Hochwasserereignissen mit Schwemmholzanfall gekommen. Daher können noch keine Aussagen zur Wirkungsweise des Gleichrichters in der Natur getroffen werden.

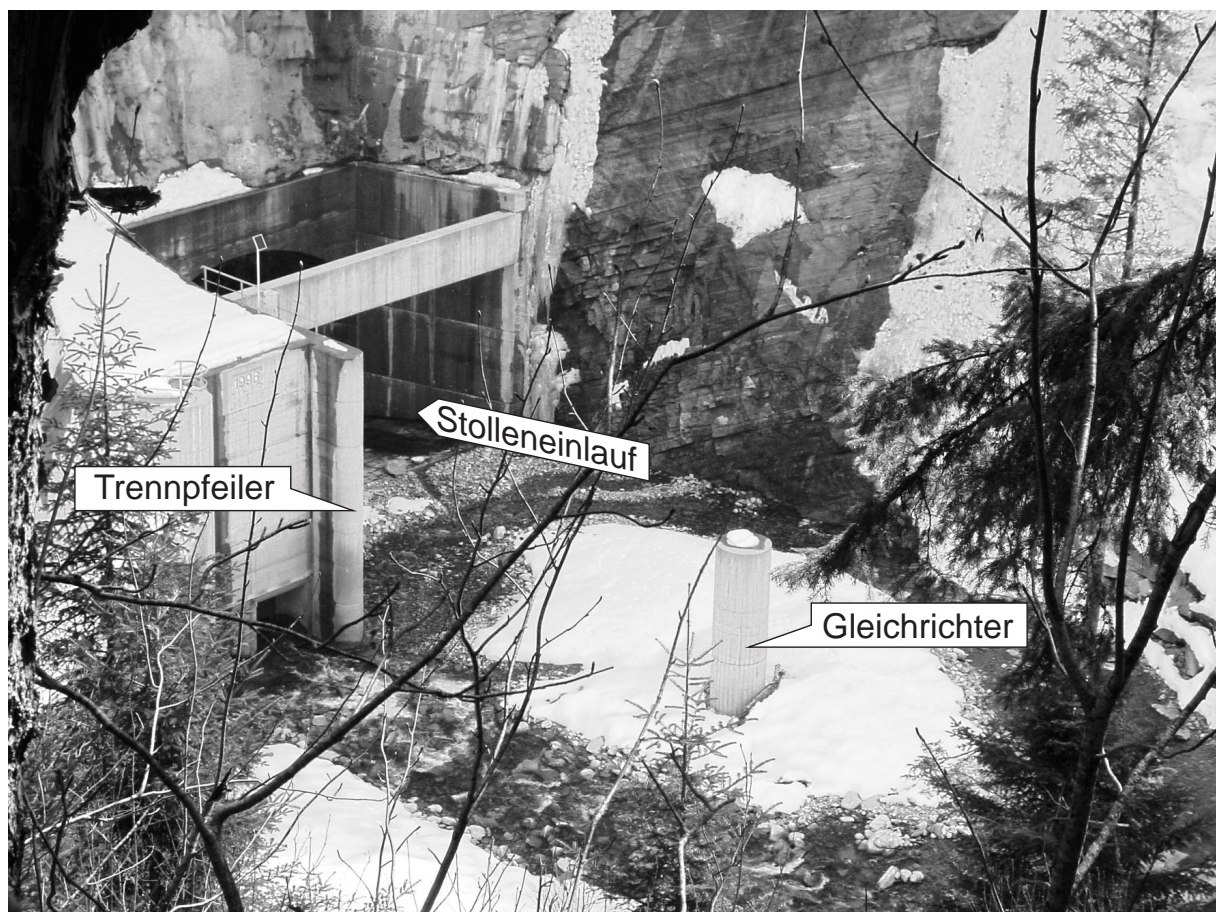


Abb. 28: Gleichrichter vor dem Umleitstollen Campo Vallemagia; Fliessrichtung von rechts nach links  
(Quelle: Kanton Tessin)



## 9 Rückhalt von Schwemmholz

Eine Lösung zur Verringerung der Schwemmholzgefahr ist der Rückhalt des Schwemmholzes oberstrom der gefährdeten Bereiche. Das Rückhaltebauwerk kann dabei entweder *im Gerinne* oder *in einem speziell dafür vorgesehenen Rückhalteraum* (Geschiebesammler, Ablagerungsplatz) angeordnet sein.

Der Rückhalt des Schwemmholzes kann *vollständig* oder *selektiv* (nur bestimmte Holzklassen oder nur ein Teil des gesamten Holzes) erfolgen.

### 9.1 Rechenkonstruktionen

#### 9.1.1 Rechen im Gerinne

Um das anfallende Schwemmholz zurückzuhalten, kann ein Rechenbauwerk direkt in das Gerinne gebaut werden. Probleme ergeben sich dabei, wenn durch das zurückgehaltene Holz ein gewaltiger Aufstau des Wassers entsteht und sich das angeschwemmte Holz zu einem hohen Haufen auftürmt und den Rechen zu übersteigen droht. Das über das Holz abfliessende Wasser würde so aus grosser Höhe auf die Sohle unterhalb des Bauwerks stürzen. Dort könnten dann Auskolkungen zum Einsturz des gesamten Bauwerks führen und damit zu einem verhängnisvollen Ausbruch des Schwemmholzes.



Abb. 29: V-förmiger Schwemmholzfang am Chämtnerbach (Kanton Zürich) im ausgeräumten Zustand, Stababstand 1.80 m (Blick in Fliessrichtung)

Aufgrund von diesen Erfahrungen hat Knauss (1995) in Modellversuchen die Idee des **V-förmigen Schwemmholzrechens** entwickelt. Die einzelnen Rechenelemente wer-

den dabei nicht in einer geraden Linie in den Bach gestellt, sondern in einer im Grundriss V-förmigen Anordnung (siehe Abb. 29).

#### **9.1.1.1 Aufbau und Wirkungsweise des V-Rechens**

*Knauss (1995)* hat zu Beginn der neunziger Jahre diese Form in Modellversuchen für einen konkreten Anwendungsfall im bayrischen Alpenraum (Lainbach) entwickelt. Mit dieser Anordnung werden im Gegensatz zu einem Holzrechen, dessen Elemente in einer Ebene senkrecht zur Fliessrichtung stehen, primär folgende Ziele verfolgt:

- eine nicht allzu dichte Verklausung entlang der vordersten Rechenfront
- eine verlängerte Linie, auf der das Wasser aus der Holzansammlung austreten kann
- die Entwicklung der Holzansammlung in Form eines lang gezogenen Teppichs und nicht als auftürmender Haufen
- Steigerung der Versagenssicherheit durch innere Brückenbildung, da die ersten in den V-Rechen eingetriebenen und sich dort verhängenden Hölzer selbst zu Elementen des Rechens werden

Durch diese Wirkungsweise werden auch die Hauptanforderungen erfüllt:

- vergleichsweise geringer Aufstau des Wassers
- Grosse Sicherheit gegen Ausbrechen der Holzansammlung in das Unterwasser.

Diese Art des Schwemmholtzrückhalts ist für grössere Gewässer mit einem Sohlgefälle  $< 5 \%$  im Bereich des Holzrechens geeignet. Modellversuche an der VAW zeigten, dass bei steileren Gefällen durch zu hohe Fliessgeschwindigkeiten die Ausbildung eines Schwemmholtzteppichs verhindert wird. Es wurde die Bildung eines aufgetürmten Holzhaufens beobachtet, durch den der Rechen vollständig verklauste (*Zahno, 2000*).

Die Einzelelemente des V-Rechens sind runde Säulen, die sich in den Modellversuchen als strömungsgünstig erwiesen (*Knauss, 1995*). **Die Grösse des Stababstandes** wird durch zwei konträre Aspekte bestimmt. Einerseits soll die Sperrwirkung so gross wie möglich sein, der Abstand also möglichst klein gewählt werden. Andererseits muss der Rechen nach einem Hochwasser geräumt werden und für die Räumfahrzeuge passierbar sein. Dies spricht für weitere Säulenabstände. In der Anfangsphase der Verklausung kann quer treibendes Holz, das kürzer ist als der Säulenabstand, den Rechen passieren. Ein 100%iger Schwemmholtzrückhalt ist nicht möglich.

In der nachfolgenden Tab. 4 sind einige Beispiele für realisierte Rechen mit der jeweiligen Anordnung und den Stababständen zusammengestellt. Dies soll einen Anhaltspunkt über die Bandbreite des möglichen Stababstandes zeigen. Dieser muss jedoch immer aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und der Anforderungen gewählt werden.

	<b>Anordnung</b>	<b>Stababstand (Lichte Weite)</b>
Gürbe (Kanton Bern)	leicht gekrümmt	1.00 m
Chämtnerbach (Kanton Zürich)	V-Rechen	1.44 m
Arzbach (Bayern)	V-Rechen	2.40 m
Lainbach (Bayern)	V-Rechen	3.40 m
Enziwigger (Kanton Luzern), (geplant)	V-Rechen	1.30 m

Tab. 4: Beispiele für Stababstände ausgewählter Schwemmholzrechen

Der Stababstand ist nur am Anfang des Ereignisses von Bedeutung. Ist der Rechen mit den ersten Stämmen verlegt, spielt die Grösse des Stababstandes keine Rolle mehr, da ein Passieren einzelner Holzteile praktisch nicht mehr möglich ist.

Für die Bemessung eines Grobrechens kann als Richtwert davon ausgegangen werden, dass bei einem lichten Stababstand  $s$  Holz mit einer Länge  $L$

$$L \geq 1.5 \cdot s \quad [10]$$

zurückgehalten werden kann.

*Knauss (1995)* hatte vorgesehen, aus Sicherheitsgründen hinter die erste Säulenreihe noch eine zweite Säulenreihe zu stellen. Diese soll bewirken, dass sich in der Anfangsphase die ersten Hölzer in beiden Reihen verhängen können, und dass sich eventuell überfallendes Holz (bei zu grossem Aufstau) in der zweiten erneut verhängen kann. Der Treibholzfang am Lainbach (Bayern) wurde mit zwei Säulenreihen ausgeführt (siehe Abb. 30).

Die Modellversuche von *Knauss (1995)* haben aber gezeigt, dass die 2. Säulenreihe relativ selten von Nöten war. Daher sind die meisten V-Rechen mit nur einer Säulenreihe gebaut worden, beispielsweise am Arzbach (Bayern) oder am Chämtnerbach (Kanton Zürich, siehe Abb. 29).



Abb. 30: V-förmiger Schwemmholzrechen am Lainbach (Bayern) mit doppelter Säulenreihe (Lichte Weite zwischen der ersten Säulenreihe 3.40 m)  
(Quelle: Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Oberrach)

Die ersten gebauten Rechen weisen ein V mit der Öffnung flussaufwärts auf (vgl. Abb. 31 links). Diese haben den Vorteil, dass die innere Brückenbildung innerhalb der Holzansammlung einen zusätzlichen Stabilitätsfaktor darstellt. *Knauss (1995)* hat auch Modellversuche mit Rechen durchgeführt, bei denen das V flussabwärts geöffnet ist (siehe Abb. 31 rechts). Die Ergebnisse zeigen, dass die Resultate hinsichtlich Holzrückhalt und maximalem Aufstau kaum schlechter ausfallen als bei Rechen mit V-Öffnung flussaufwärts, da die Wasseraustrittslinie gegenüber der anderen Variante genau gleich lang ist. Positiv bei der Lösung mit der V-Öffnung flussabwärts ist jedoch, dass das durch den Rechen durchtretende Wasser in Flussmitte gelenkt wird und die Ufer daher weniger stark angegriffen werden.

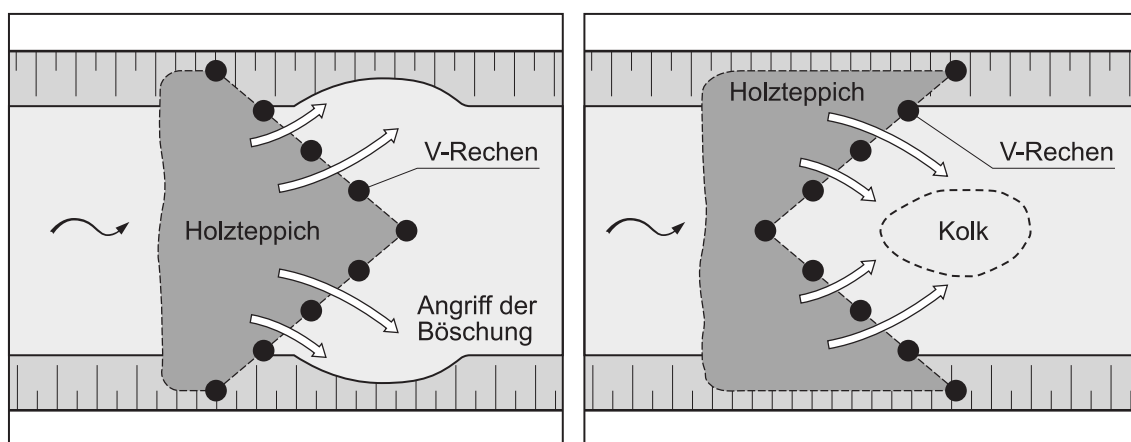


Abb. 31: Varianten des V-Rechens;  
**links:** V-Öffnung flussaufwärts; **rechts:** V-Öffnung flussabwärts

In der Literatur findet man oftmals die Aussage, dass bei V-Rechen das Schwemmholz als schwimmender Teppich aufgefangen wird und das das Geschiebe unter dem Teppich hindurch passieren kann. Diese Aussage muss aus den Erfahrungen in verschiedenen Modellversuchen und aus Naturbeobachtungen klar revidiert werden. **Bei einem Holzrückhalt an einem Rechen ist die Weiterleitung des Geschiebes nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich.**

#### **9.1.1.2 Berechnung des Aufstaus**

Die Säulenhöhe eines Rechens richtet sich nach dem höchstmöglichen Aufstau beim Bemessungsabfluss. *Knauss (1995)* hat in seinen Grundlagenuntersuchungen die Wasserspiegellagen vor und nach der Verklausung in Abhängigkeit von Abfluss und der Zusammensetzung des zugegebenen Schwemmholzes gemessen (siehe Abb. 32 oben). Anhand der Messungen definierte *Knauss (1995)* den Aufstaufaktor  $\alpha$

$$\alpha = \frac{h_2 - h_1}{v_1^2 / 2g} \quad [11]$$

Darin bezeichnen  $h_1$  die Abflusstiefe bei unverlegtem Rechen,  $h_2$  die Abflusstiefe bei verlegtem Rechen (Aufstauhöhe),  $v_1$  die Fliessgeschwindigkeit bei unverlegtem Rechen und  $g$  die Erdbeschleunigung (siehe Abb. 32). Die Messgrößen werden vor dem Rechen in einem Abstand, der in etwa dem 2fachen der Gerinnebreite entspricht, erfasst.

Abb. 32 unten zeigt die aus den Versuchen ermittelten Werte für  $\alpha$  in Abhängigkeit des spezifischen Abflusses  $q$  für verschiedene Formen des Rechens sowie für unterschiedliche Zusammensetzungen des Schwemmholzes.



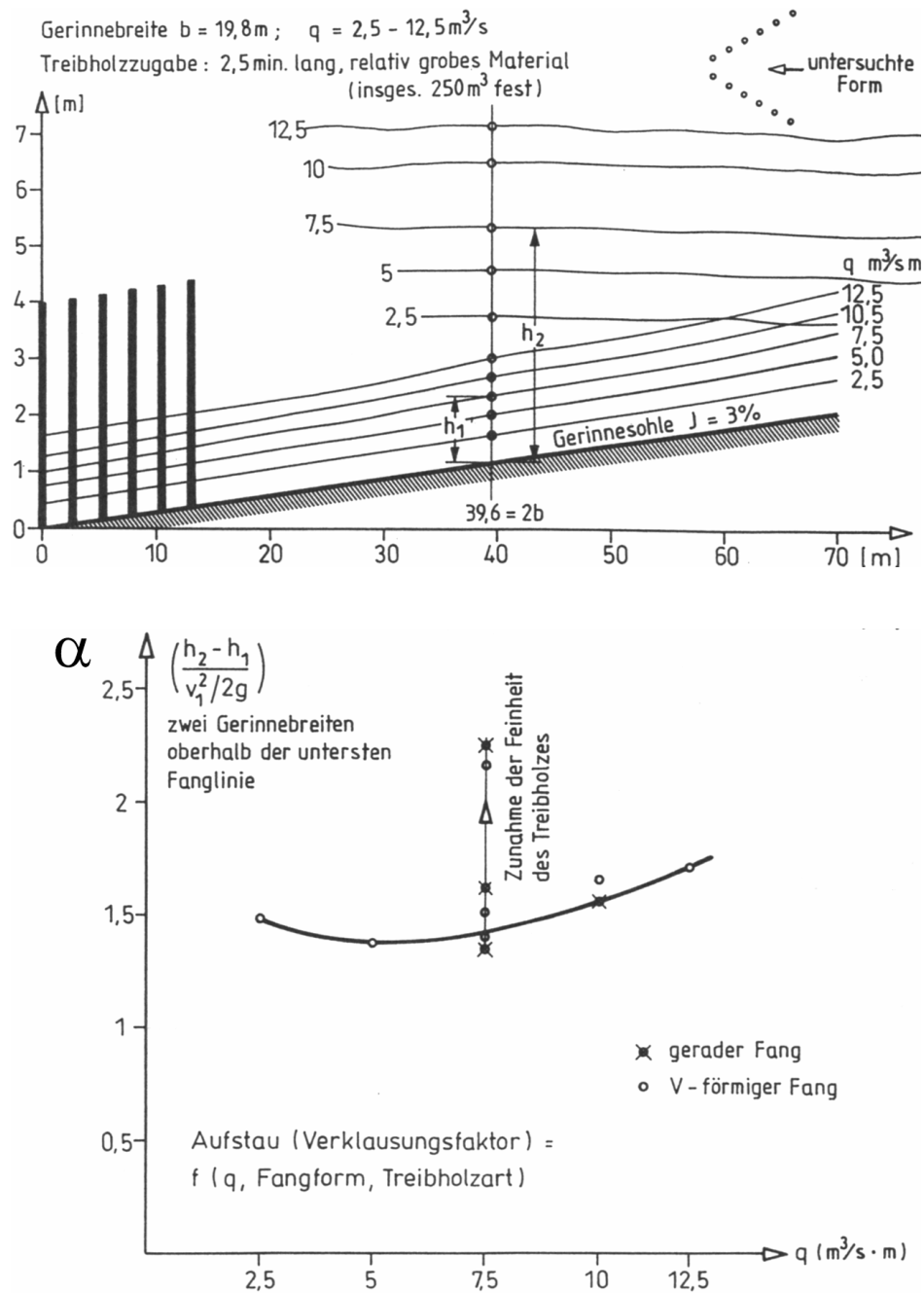


Abb. 32: **oben:** Wasserspiegellagen vor und nach der Verklauung im V-förmigen Fang bei den untersuchten Abflüssen

**unten:** Aufstau- oder Verklauungsfaktor  $\alpha$  in Abhängigkeit vom spezifischen Abfluss  $q$  und der Feinheit des Schwemmholzes

(Knauss, 1995)

Die Auswertung der Abb. 32 zeigt deutlich, dass der spezifische Abfluss für die Höhe des Aufstaus von untergeordneter Rolle ist. Entscheidend hingegen ist der Feinanteil im Schwemmholz. Der Aufstau nimmt mit wachsendem Feinanteil im Schwemmholz zu. Für Schwemmholzmischungen mit wenig Feinanteil kann näherungsweise von  $\alpha \approx 1,5$  ausgegangen werden, bei Schwemmholzmischungen mit grossem Feinanteil beträgt der Aufstaufaktor  $\alpha \approx 2,5$ .

Mit dem Aufstaufaktor  $\alpha$  lässt sich die Aufstauhöhe  $h_2$  ausgehend von der Abflusstiefe  $h_1$  und der Abflussgeschwindigkeit  $v_1$  bei verlegtem Rechen wie folgt ermitteln:

$$h_2 = h_1 + \alpha \frac{v_1^2}{2g} \quad [12]$$

Die Methode der Aufstaurechnung nach Knauss wurde auch für das Fallbeispiel Gürbe (siehe Abschnitt 10.1) angewendet. Es wurde überprüft, ob die gemessenen Aufstauhöhen im Modell mit der Rechnung nach Knauss nachgebildet werden können. Für die grossen Abflüsse konnte eine gute Übereinstimmung mit einem Aufstaufaktor  $\alpha = 2.5$  erreicht werden (hoher Feinanteil). Für kleinere Abflüsse konnte eine bessere Übereinstimmung mit  $\alpha = 1.5$  erreicht werden (*Lange und Bezzola, 2002*).

Diese Untersuchung zeigt, dass die Anwendung des Verfahrens zur Bestimmung der Aufstauhöhen auf komplexere Systeme mit Unsicherheiten behaftet ist, da es auf der Grundlage von Modellversuchen in einem prismatischen Laborgerinne entwickelt wurde. Für die Praxis kann diese Methode jedoch nur erste Anhaltspunkte für den zu erwartenden Aufstau liefern, indem für  $\alpha$  die beiden Grenzwerte 1.5 (wenig Feinmaterial) und 2.5 (viel Feinmaterial) angenommen werden. Für eine konservative Betrachtung wird eine Berechnung mit dem Aufstaufaktor  $\alpha = 2.5$  empfohlen.

#### **9.1.1.3 Bewährung in der Praxis**

Von den realisierten V-förmigen Schwemmholzrechen wurden die beiden am Chämptnerbach und Lainbach schon ersten Bewährungsproben bei kleineren und mittleren Hochwassern ausgesetzt. Das Schwemmholz wurde zum grössten Teil zurückgehalten, so dass keine Schäden im Unterwasser auftraten.

Neben dem Holz wurde auch das Geschiebe nahezu vollständig zurückgehalten. Ein Geschiebetransport unter dem schwimmenden Holzteppich an einem Rechen ist nicht möglich.

## 9.1.2 Holzurückhalt in Geschiebesammlern

### 9.1.2.1 Klassische Lösungsansätze

#### Balkensperren

Abschlussbauwerke von Geschiebesammlern werden oft als Schlitzsperren ausgebildet, wobei die Öffnung durch einen Rost oder eine der Mauer vorgelagerte Rechenkonstruktion abgedeckt ist. Ziel ist es, gröberes Geschiebematerial und Holz zurückzuhalten. In der Schweiz besteht der in der Mauer integrierte Rost zumeist aus horizontalen Balken, die nach einem Ereignis entfernt werden können, um eine selbsttätige Räumung zu fördern oder einen Zugang zum Sammler für die Räumung zu haben. Ein typisches Beispiel für eine derartige Balkensperre zeigt Abb. 33.



Abb. 33: Balkensperre am Abschlussbauwerk des Geschiebesammlers am Sigetsbach in Sachseln, Abstand der horizontalen Gitterstäbe ca. 50 cm (Blick in Fliessrichtung)

Während des Unwetters von 1997 in Sachseln (Kanton Obwalden) wurden die Grenzen von Balkensperren als Massnahme für den kombinierten Geschiebe- und Holzurückhalt klar aufgezeigt. Dabei wurden in den Geschiebesammlern der drei grössten Sachsler Bäche ähnliche Versagensmechanismen festgestellt.

Die Beobachtungen während des Ereignisses (BWW, 1998) sowie anschliessend durchgeführte Modellversuche zeigten, dass die Balkenroste relativ schnell durch Holz verlegt wurden (siehe Abb. 34a). Dadurch begann sich das Wasser in den Sammlern aufzustauen, und es bildete sich jeweils ein See, in welchen das Holz zunächst aufschwamm und in dem sich das Geschiebe deltaförmig abzulagern begann (Abb. 34b).



Da die Verlegung der Schlitzte genügend dicht bzw. der Zufluss entsprechend gross waren, wurde über längere Zeit ein Zustand erreicht, bei dem die über die Überfallsektionen des Abflussbauwerke entlastete Wassermenge ausreichend war, um das Holz in das Unterwasser abzuschwemmen (Abb. 34c).

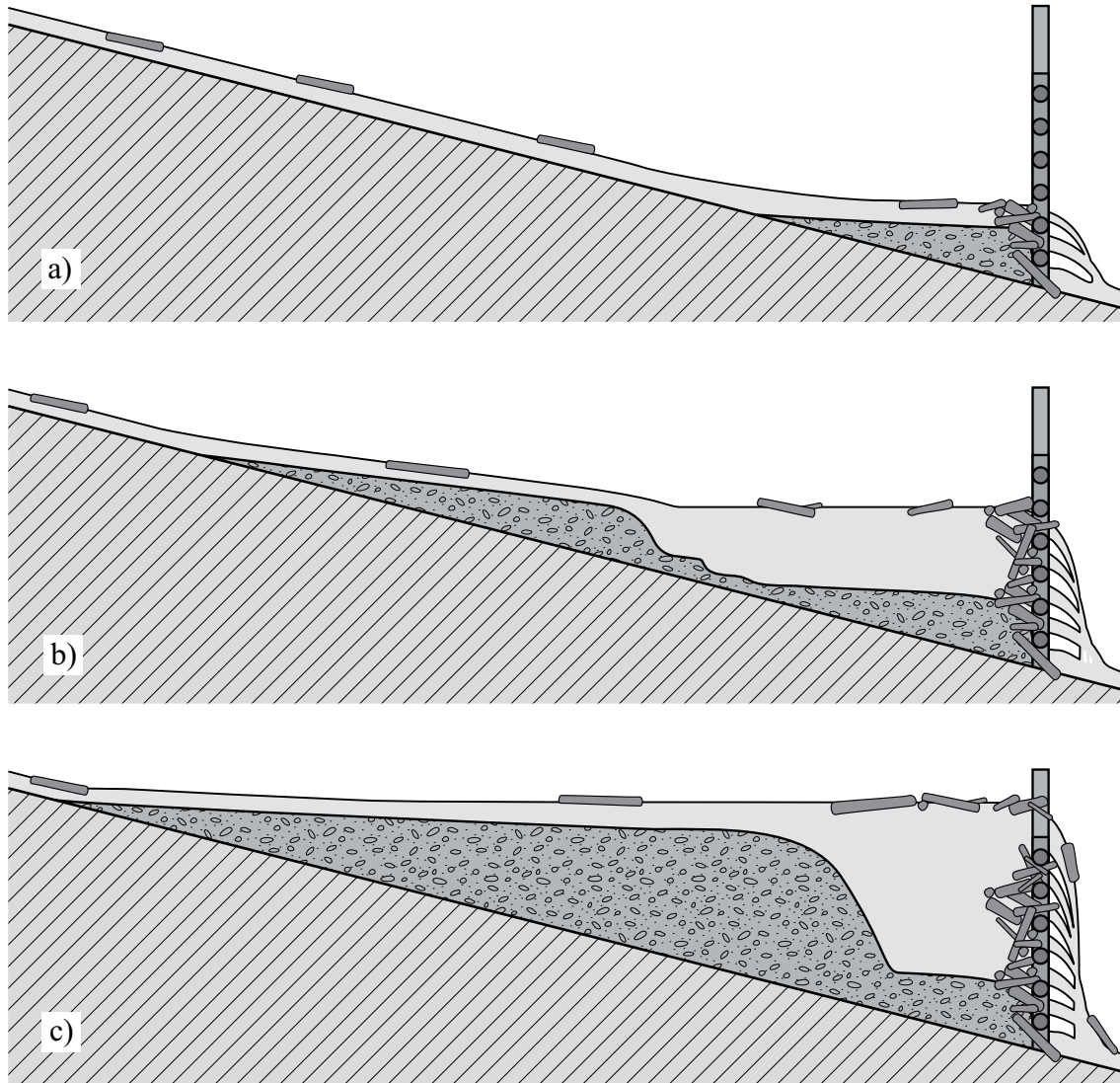


Abb. 34: Schematische Darstellung der Verlegung eines mit einem Balkenrost versehenen Abschlussbauwerks eines Geschiebesammlers im Hochwasserfall

## Sortierwerke

In Österreich wird bereits seit einigen Jahrzehnten mit unterschiedlichen Rechenformen an Rückhaltebauwerken experimentiert (Gotthalmseder, 1998). Eine Lösung, die mit gewissem Erfolg auch den Rückhalt grösserer Holzmengen in einem Geschiebesammler gestattet, stellt das Sortierwerk dar (Bitterlich, 1998). Bei diesem ist die Rechenkonstruktion der Öffnung im Abschlussbauwerk vorgelagert, wobei die Rechenkonstruktion aus bis zu drei unterschiedlich geneigten Ebenen besteht. In Fliessrichtung gesehen folgen ein auf der Höhe der Sammlersohle angeordnetes horizontales Rechenfeld sowie zwei weitere Felder mit jeweils steilerer Neigung (siehe Abb. 35).



*Abb. 35: Sortierwerk am Palanggenbach oberhalb von Seedorf im Kanton Uri*

Im eingestauten Zustand sammelt sich das Holz am steil geneigten Teil des Rechens, und ein wesentlicher Teil des Abflusses erfolgt durch das horizontale Rechenfeld. Dadurch kann vermieden werden, dass eine grössere Abflussmenge über die Überfallsektion entlastet und so Holz ins Unterwasser abgeschwemmt wird.

Um diese Funktionsweise zu gewährleisten, muss der horizontale Teil des Rechens frei bleiben. Deshalb darf das Längsgefälle im Sammler nicht zu gross sein, damit das horizontale Rechenfeld vor der Bildung eines Rückstaus nicht durch Grobgeschiebe eingeschüttet wird. Ausserdem darf die Strömung durch das horizontale Rechenfeld auch

nicht so stark sein, dass aufschwimmendes Holz nach unten gezogen wird und zu einer Verlegung führt.

Dass diese Bedingungen nur teilweise einzuhalten sind, zeigen die Erfahrungen mit bestehenden Sortierwerken in Österreich (*Gotthalmseder, 1998*). So wurde zum Beispiel beim Abklingen der Hochwasserwelle ein Verschluss der Ausflussöffnung durch Herabsinken des zurückgehaltenen Holzes beobachtet (siehe Abb. 36).



*Abb. 36: Sortierwerk Mandlingbach, Gemeinde Radstadt/ Pichl-Preunegg  
(Bitterlich, 1998)*

## **Fazit**

Balkensperren und Sortierwerke sind zum gemeinsamen Rückhalt von Geschiebe und Schwemmholz nur begrenzt geeignet. Es muss also nach Lösungen gesucht werden, um in bestehenden Sammlern neben dem Geschiebe auch das anfallende Schwemmholz wirkungsvoll zurückzuhalten.

Anhand der Fallbeispiele für die Geschiebesammler in den Sachsler Wildbächen (Kanton Obwalden) und für den Steinibach in Hergiswil (Kanton Nidwalden) wurden in Modellversuchen zwei Lösungsansätze entwickelt. Zum einen handelt es sich um grossflächige Rechenkonstruktionen (vgl. Abschnitt 9.1.2.2) und zum anderen um Tauchwandlösungen (vgl. Abschnitt 9.2.1).

### 9.1.2.2 Rechenkonstruktionen in Geschiebesammlern

#### Anforderungen

Für die insgesamt 5 ähnlich konzipierten Geschiebesammler in Sachseln (Kanton Obwalden) wurde nach dem Hochwasser von 1997 nach Lösungen gesucht, mit welchen das Schwemmholz künftig in den jeweiligen Sammlern zurückgehalten werden kann (Bezzola, 2001). Folgende Anforderungen wurden gestellt:

- Die vorhandenen Rückhaltevolumina (zwischen 3'000 und 25'000 m<sup>3</sup>) erwiesen sich während des Unwetters von 1997 als knapp genügend, um das anfallende Geschiebe zurückzuhalten. Künftig sind zusätzlich zum Geschiebe Holzmengen von 500 bis 2'000 m<sup>3</sup> (locker gelagertes Holz) zurückzuhalten.
- Die Massnahmen für den Holzrückhalt sollten möglichst einfach in die bestehenden Bauwerke integriert werden können. Ein aufwendiger Umbau der bestehenden Abschlussbauwerke stand aus wirtschaftlichen Gründen nicht im Vordergrund.
- Eine dosierte Abgabe von Geschiebe zur Begrenzung der Erosionsproblematik im Unterwasser ist nicht zwingend notwendig, da die Gerinne flussabwärts der Sammler gegen Erosion gesichert sind bzw. nach dem Hochwasserereignis 1997 nachträglich gesichert wurden.

#### Idee

Der Stababstand der Rechenstäbe sollte nicht zu klein gewählt werden, um zu verhindern, dass kleinere Hochwasser, bei welchen vor allem feineres Geschwemmsel und Holz mit vergleichsweise kleinen Abmessungen zugeführt wird, den Rechen verlegen. Dadurch muss der Rechen weniger häufig gereinigt werden. Eine Verlegung des Rechens bei kleineren Ereignissen würde zudem zur Bildung eines Rückstaus und somit zur ungewünschten Ablagerung von Feinsedimenten führen.

Die Rechen sollten im unteren Bereich grobmaschig ausgebildet werden, um, wie oben erwähnt, einen möglichst ungehinderten Durchgang kleiner Ereignisse zu gewährleisten. Im oberen Bereich ist eine engmaschige Ausbildung anzustreben, damit bei grösseren Ereignissen eine Abdrift von Holz verhindert werden kann.

#### Untersuchte Rechentypen

Abb. 37 zeigt schematisch die untersuchten Rechenkonstruktionen. Sie lassen sich in zwei Kategorien unterteilen:

- Grossflächige Konstruktionen, die das gesamte Abschlussbauwerk abdecken
- Kleinflächigere Rechenkonstruktionen, die nur den zentralen Teil des Abschlussbauwerks abdecken

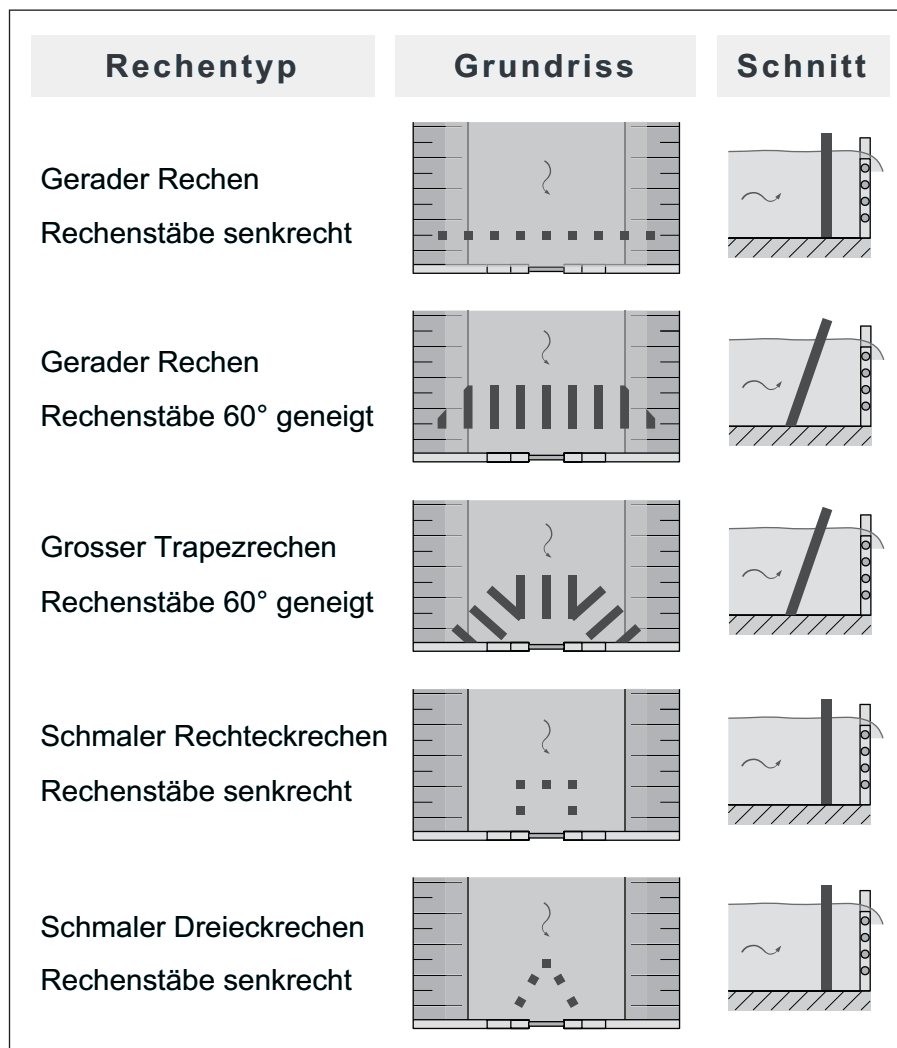


Abb. 37: Im hydraulischen Modellversuch untersuchte Rechentypen

Die Ergebnisse aus den Modellversuchen zeigen, dass bis zur Kapazitätsgrenze des Sammlers grundsätzlich mit allen untersuchten Rechentypen ein wirksamer Holzrückhalt möglich ist.

### Einfluss des Einstaus

Als weiterer Parameter wurde der Einstaugrad variiert. Da das Abschlussbauwerk der Sammler aus wirtschaftlichen Gründen nicht umgebaut wird, verbleibt der Balkenrost bzw. Schlitz in der Abschlussmauer bestehen. Weil der Rechen grobmaschig ausgebildet wird, kann ein gewisser Anteil des anfallenden Schwemmholzes den Rechen passieren und den Schlitz oder Balkenrost verlegen. Deshalb kann auch mit vorgelagertem Rechen ein See im Geschiebesammler entstehen und dieser Fall muss mit berücksichtigt werden.

Der Einstau kann auch gewollt sein, wenn eine räumliche Trennung von Holz und Geschiebe angestrebt wird. Durch die Verlegung des Rechens bildet sich dann ein See. Das Holz wird am Rechen zurückgehalten und das Geschiebe kann sich - durch die verkleinerte Schleppkraft - deltaförmig im hinteren Teil des Sammlers ablagern.

Um den Einfluss des Einstaus zu untersuchen, wurde einerseits der Balkenrost in seiner ursprünglichen Form betrachtet und andererseits der Balkenrost durch eine Stauwand ersetzt, wobei am Mauerfuss eine Öffnung von 3 m Breite und 0.7 m Höhe verblieb.

### Erkenntnisse

Ohne Einstau lagern sich Holz und Geschiebe vor dem Rechen ab und bilden eine kompakte Barriere (siehe Abb. 38). Die Geschiebefront erreicht die Abschlussperre in einer frühen Phase des Ereignisses. Sobald der Durchlass in der Abschlussperre verkleust, wird der Geschiebetrieb durch den Sammler praktisch vollständig unterbunden.

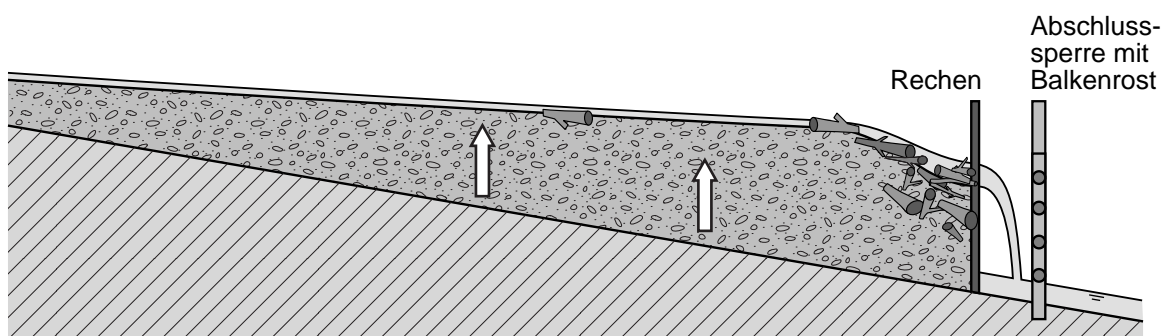


Abb. 38: *Gemeinsame Ablagerung von Geschiebe und Holz bei nicht eingestauten Verhältnissen*

Der Einstau des Sammlers führt dazu, dass die Front des in den Sammler eingetragenen Geschiebes relativ langsam gegen das Abschlussbauwerk vorstösst. Bei Ereignissen, deren Geschiebefracht noch unter der Kapazitätsgrenze des Sammlers liegt, erreicht das Geschiebe den Rechen nicht. Dadurch ist in diesen Fällen eine räumliche Trennung von Holz und Geschiebe möglich (siehe Abb. 39).

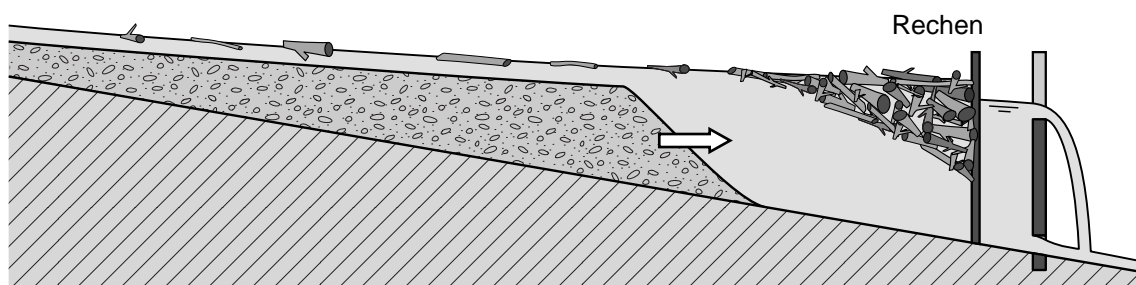
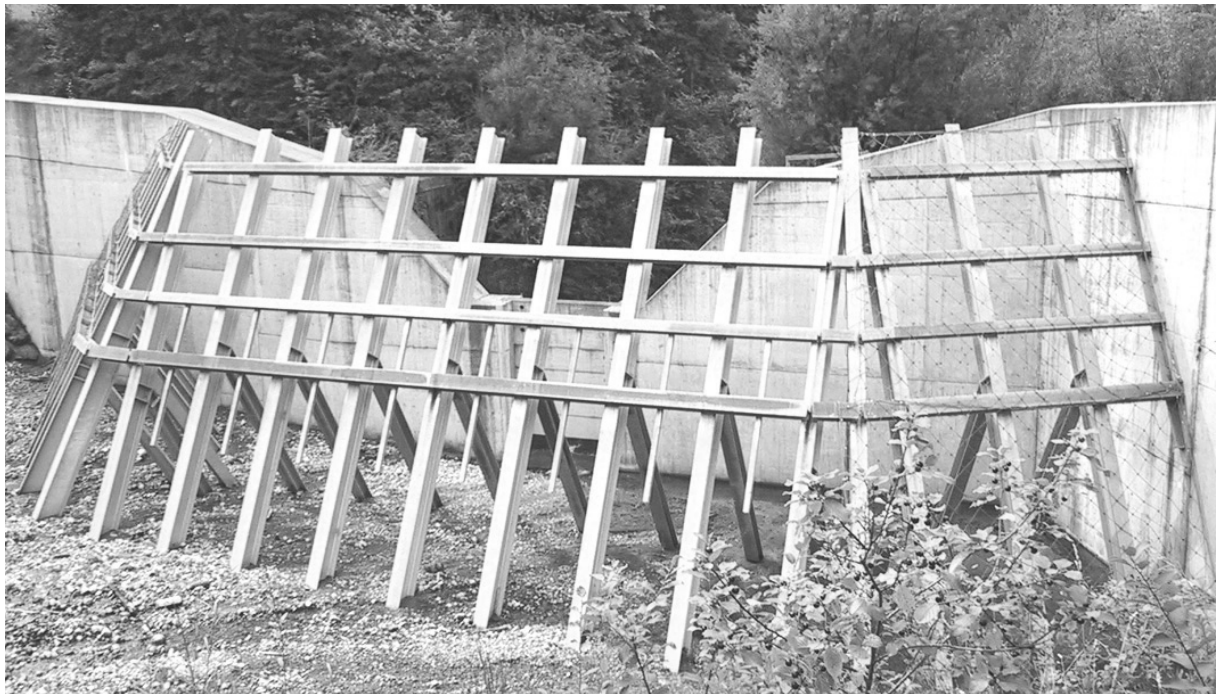


Abb. 39: *Trennung von Geschiebe und Holz als Folge eines gewollten Aufstaus*

Der Einstau des Geschiebersammlers kann ungewollt erfolgen (wenn beispielsweise der Balkenrost der Abschlussperre verlegt wird) oder auch gewollt sein, wenn bei grosszügigen Platzverhältnissen eine Trennung von Holz und Geschiebe angestrebt wird.

Der Holzdurchgang in der kritischen Anfangsphase kann durch geeignete Massnahmen reduziert werden. Beim bereits realisierten Rechen am Dorfbach in Sachseln (Abb. 40) beispielsweise weist der untere Teil des Rechens grössere Öffnungen auf, um bei kleineren und mittleren Ereignissen eine Verlegung des Rechens, unnötige Geschiebeablagerungen und damit häufige Interventionen zur Räumung des Sammlers zu vermeiden. Durch den bei grösseren Ereignissen erzwungenen Rückstau wird der Wasserspiegel im Sammler auf das Niveau der Überfallsektion des Abschlussbauwerkes gehoben, wo durch Querstäbe die Öffnungen im Rechen reduziert sind. Die seitlichen Rechen werden zusätzlich durch grobmaschige Netze abgedeckt (Bezzola, 2001). Diese sollen verhindern, dass seitlich ankommendes Holz, welches sich parallel zur Sperre ausrichtet, ausgetragen werden kann.



*Abb. 40: Trapezförmiger Rechen am Dorfbach in Sachseln (gegenseitiger Stababstand 2 m, Stabhöhe ca. 9 m)*



## Überlastfall

Im Überlastfall weisen grossflächige Rechenkonstruktionen, welche das gesamte Abschlussbauwerk abdecken, entscheidende Vorteile auf. Ein schmaler Rechen wird bei vollständiger Füllung des Sammlers seitlich umflossen. Wasser, Geschiebe und Holz werden unkontrolliert über die Sperrenflügel entlastet (Abb. 42).

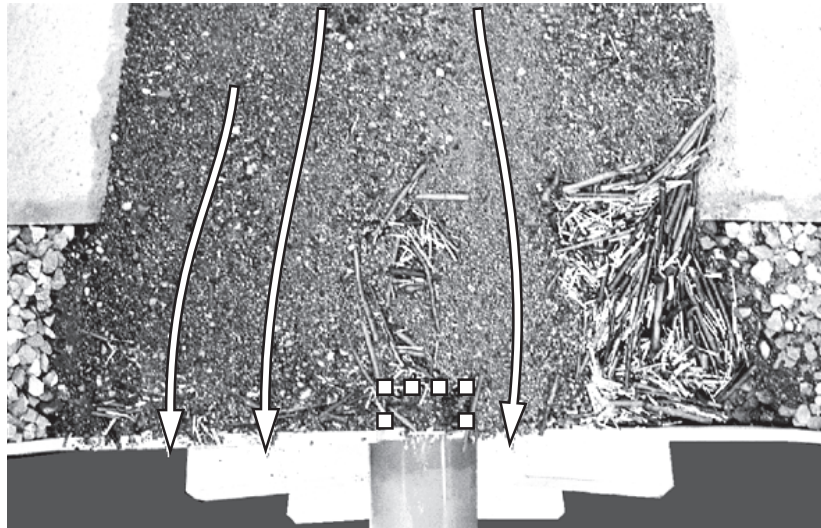


Abb. 41: Verhalten eines schmalen Rechens vor dem Abschlussbauwerk, Überlastfall

Bei einem über die ganze Breite reichenden Rechen findet zunächst eine Entlastung in den Raum zwischen dem Rechen und der Abschluss Sperre statt. Dieser Zwischenraum wirkt als Sammelrinne. Aus dieser werden das Wasser, Holz und allfälliges Geschiebe über die Überfallsektion der Abschluss Sperre kontrolliert in das Unterwasser entlastet. Die Erosionsgefährdung im Bereich der Widerlager der Abschluss Sperre reduziert sich damit erheblich (Abb. 42).

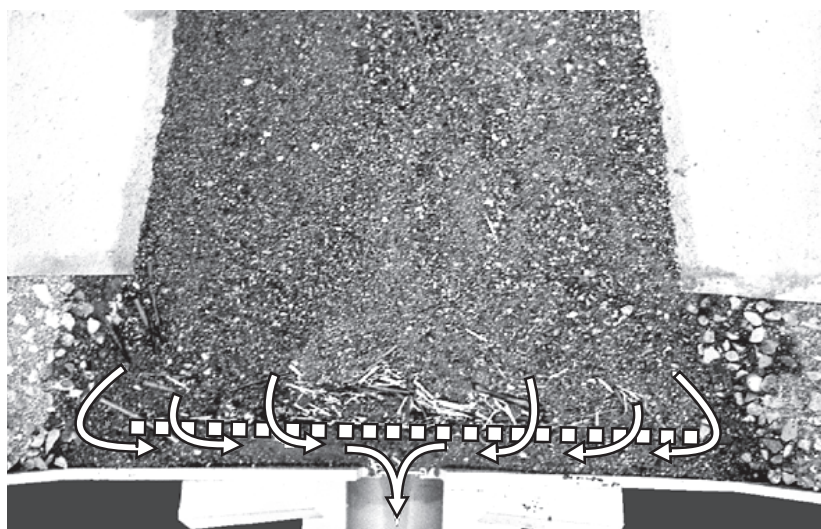


Abb. 42: Verhalten eines breiten Rechens vor dem Abschlussbauwerk, Überlastfall



### 9.1.3 Grundsätze für die Dimensionierung eines Rechens

#### 9.1.3.1 Lastannahmen

##### Klare Trennung von Holz und Geschiebe

Eine **klare Trennung von Holz und Geschiebe** liegt vor, wenn die Geschiebefront den Rechen nicht erreicht. In diesem Fall wirken auf die Rechenstäbe oberwasserseitig die Wasserlast  $W_o$  und die Holzlast  $H_o$ . Die Holzlast  $H_o$  ist keine statische Last im eigentlichen Sinne, sondern bezeichnet die Kraft auf den Rechen, welche durch die Strömungskräfte entsteht, wenn der Rechen mit Holz verlegt ist.

Weiterhin wirken auf den Rechen sein Eigengewicht  $G$ , der Auftrieb auf das Rechenfundament  $A$  und die unterwasserseitige Wasserlast  $W_u$  (siehe Abb. 43 und Abb. 44).

$W_u$  ist abhängig von den Randbedingungen im Unterwasser. Der Unterwasserspiegel und damit die unterwasserseitigen Lasten können niedrig oder hoch sein. Ein hoher Unterwasserspiegel kann sich beispielsweise einstellen, wenn sich der Rechen im Geschiebesammler vor einer Abschlusssperre befindet und diese mit Holz verlegt ist (Abb. 43).

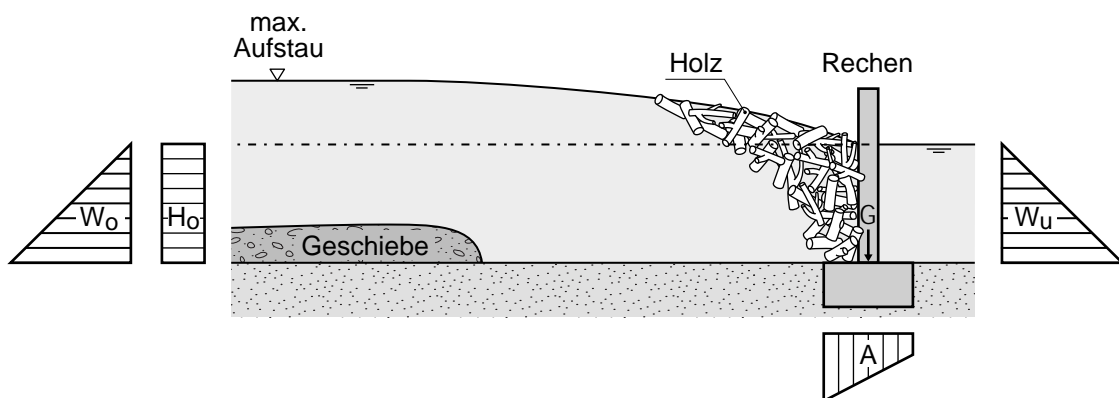


Abb. 43: Vereinfachte schematische Darstellung der auf einen Rechen wirkenden Lasten bei klarer Trennung von Holz und Geschiebe bei hohem Unterwasserstand

Ein niedriger Unterwasserspiegel, wie in Abb. 44 gezeigt, kann beispielsweise auftreten, wenn sich der Rechen in einem Geschiebesammler befindet und die Abschlussperre nicht mit Holz verlegt ist.

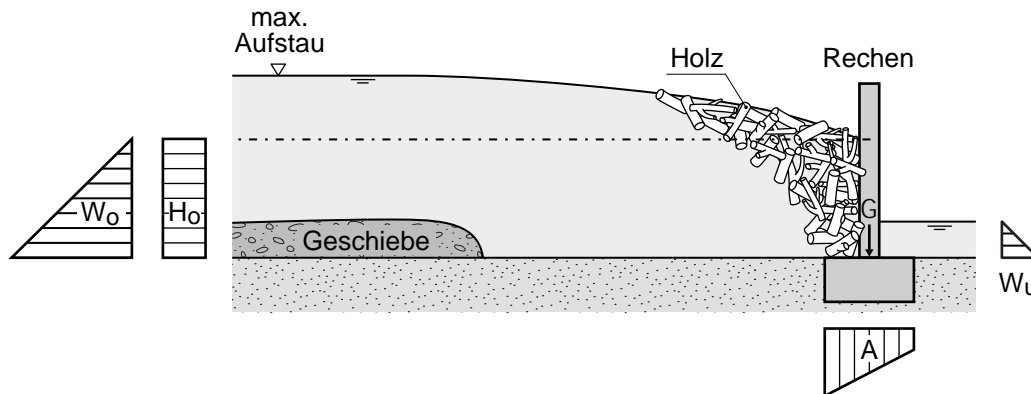


Abb. 44: Vereinfachte schematische Darstellung der auf einen Rechen wirkenden Lasten bei klarer Trennung von Holz und Geschiebe bei niedrigem Unterwasserstand

Für eine Bemessung wird empfohlen, die nach Abb. 43 und Abb. 44 wirkenden Lasten wie folgt zu vereinfachen (siehe Abb. 45).

Der Wasserdruck  $W_0$  muss für den höchsten Aufstau (vgl. Abschnitt 9.1.1.2) in Rechnung gestellt werden, auch wenn sich in der Holzansammlung eine Senkkurve einstellt. Vereinfacht kann die kombinierte Holz-/ Wasserlast durch eine Ersatzlast  $W_0 + H_0$  mit einer mittleren Dichte von  $1'500 \text{ kg/m}^3$  angenähert werden. Diese Ersatzlast sollte bis zum maximalen Aufstau angesetzt werden (siehe Abb. 45). Der Holzrückhalterechen an der Gürbe (vergleiche Abschnitt 10.1) wurde auf diese Weise bemessen.

Bei breiten Fundamenten darf der Auftrieb  $A$  des Fundamentes nicht vernachlässigt werden. Für eine konservative Bemessung wird empfohlen, die unterwasserseitige Wasserlast  $W_u$  nicht in Rechnung zu stellen.

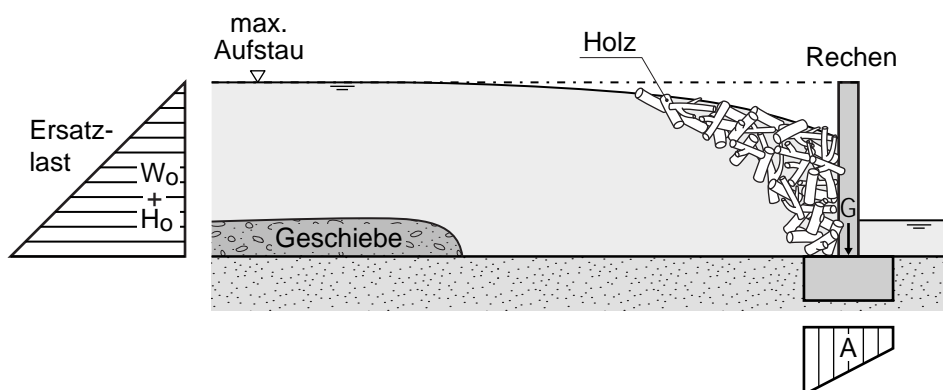


Abb. 45: Vereinfachte Lastannahmen zur Bemessung eines Rechens bei klarer Trennung von Holz und Geschiebe

### Keine Trennung von Holz und Geschiebe

Wenn eine **Trennung von Holz und Geschiebe nicht gewährleistet** ist, muss neben der oberwasserseitigen Wasserlast  $W_o$  und der Holzlast  $H_o$  auch der Erddruck  $E_a$  unter Auftrieb mit berücksichtigt werden. Dieser Fall tritt beispielsweise ein, wenn die Abschlussperre des Geschiebesammlers nicht durch Geschwemmsel verlegt ist und Holz und Geschiebe gemeinsam vor dem Rechen abgelagert werden. Der Rechen wird in diesem Fall zur Sperre und muss auch als solche bemessen werden (siehe Abb. 46).

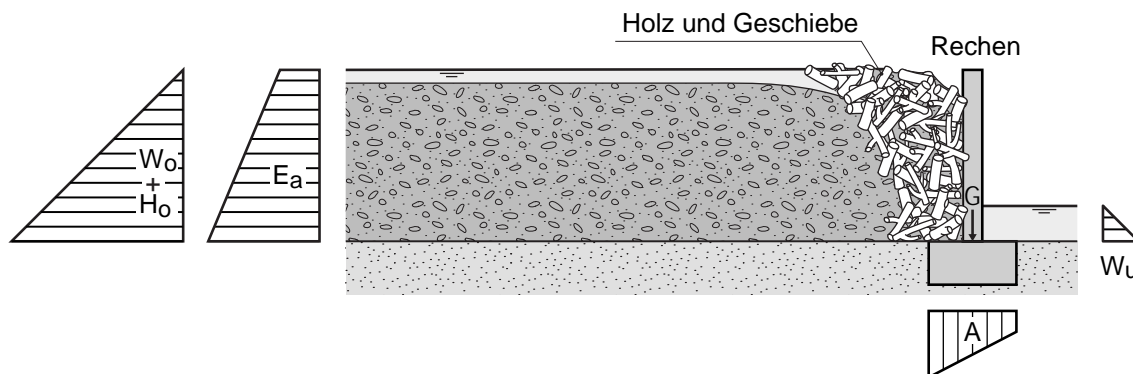


Abb. 46: Lastfall Rechen bei gemeinsamer Ablagerung von Holz und Geschiebe unter nicht eingestauten Verhältnissen

#### 9.1.3.2 Anprall Baumstamm

Der Rechen muss neben dem Wasser- und Holzdruck auch einem Anprall eines Baumstammes standhalten. In der Anfangsphase eines Ereignisses (unverlegter Rechen) treffen die ersten Stämme mit grosser Geschwindigkeit auf den Rechen, allerdings auf geringer Höhe. Typische Werte für die Fliessgeschwindigkeit sind 2 bis 3 m/s.

Wenn der Rechen dann allmählich verlegt wird und der Aufstau beginnt, treffen die Stämme in grösserer Höhe auf die Rechenstäbe. Allerdings kann dann für die Aufprallgeschwindigkeit ein reduzierter Wert eingesetzt werden, da die Fliessgeschwindigkeit durch die Seebildung reduziert wird. Die Fliessgeschwindigkeit wird dann in den meisten Fällen weniger als 1 m/s betragen.

In den meisten Fällen ist der Lastfall Anprall Baumstamm nicht massgebend für die Bemessung eines Rechens, muss jedoch trotzdem überprüft werden.

#### 9.1.3.3 Kolk und Uferschutz

Bei stark verlegtem Rechen ist mit einem grossen Aufstau des Wassers zu rechnen. Das Wasser wird dann über den Rechen vertikal entlastet und daher muss unterhalb des Rechens mit Kolkerscheinungen gerechnet werden. Die Grösse des Kolkes ist abhängig vom spezifischen Abfluss  $q$ , der Höhendifferenz  $\Delta h$  zwischen Ober- und Un-

terwasserstand und dem charakteristischen Korndurchmesser  $d_{90}$  des Untergrundmaterials.

Auch auf den Uferschutz muss bei Rechenbauwerken geachtet werden, da bei einem hohen Aufstau ein seitliches Umströmen des Rechens in Betracht gezogen werden muss. Diese Bereiche sind dann gesondert vor Auskolkungen und Uferangriffen zu schützen.

#### **9.1.4 Fazit**

##### **Grundrissform bei Rechen im Gerinne**

Die Grundrissform des Rechens bestimmt die Höhe des Aufstaus. Im Grundriss gerade Rechen in einem Gerinne bewirken einen grossen Aufstau des Wassers und sind weniger geeignet für einen wirkungsvollen Holzrückhalt, da einerseits das Fundament des Rechens durch das herabfallende Wasser gefährdet ist und andererseits sich das Holz zu einem Haufen auftürmen und zum Versagen des Rechens führen kann. Geeignet sind daher Rechen, die eine grosse Austrittslinie des Wassers bieten und den Aufstau begrenzen. Ein Beispiel hierfür ist der V-Rechen.

##### **Stababstand**

Der Stababstand ist nur am Anfang des Ereignisses von Bedeutung. Für die Bemessung eines Grobrechens kann als Richtwert davon ausgegangen werden, dass bei einem lichten Stababstand  $s$  Holz mit einer Länge

$$L \geq 1.5 s \quad [10]$$

wirkungsvoll zurückgehalten werden kann. Ist der Rechen mit den ersten Hölzern verlegt, spielt die Grösse des Stababstandes keine Rolle mehr. Die Grösse des Stababstandes ergibt sich oft aus statischen Überlegungen.

##### **Stabneigung**

Die Stabneigung ist für den Holzrückhalt eher von untergeordneter Bedeutung. Geneigte Rechen werden entweder aus statischen Gründen gebaut oder aus der Überlegung heraus, dass die Nettofläche, die für den Holzrückhalt zur Verfügung steht, grösser ist.

##### **Ausbildung eines Rechens im Geschiebesammler**

Rechen in Geschiebesammlern sollten das gesamte Abschlussbauwerk abschliessen. Im Überlastfall kann das Wasser, Geschiebe und Holz über die Überfallsektion der Abflusssperre kontrolliert in das Unterwasser entlastet werden. Dies ist bei schmalen Rechen nicht gewährleistet. Dort kann es zu einer unkontrollierten Entlastung des Wassers über die Sperrenflügel und damit zu einer erhöhten Erosionsgefahr im Bereich der Widerlager der Abschlussperre kommen.

## **Volumenbetrachtung**

Wenn in einem Geschiebesammler viel Platz vorhanden ist, ist - eine dichte Verlegung des Rechen und eine Seebildung vorausgesetzt - die räumliche Trennung von Holz und Geschiebe möglich. Bei beengten Platzverhältnissen werden sich Holz und Geschiebe gemeinsam am Rechen ablagern.

## **Bemessung**

Für eine konservative Betrachtung muss ein Rechen wie eine Sperre bemessen werden, da Wasser-, Erd- und Holzlasten gemeinsam auf den Rechen wirken. Das bedeutet, dass in einem Geschiebesammler zwei gleich bemessene Bauwerke hintereinander stehen.

## **9.2 Tauchwand**

### **9.2.1 Tauchwand am Abschlussbauwerk eines Geschiebesammlers**

Bei grossflächigen Grobrechenkonstruktionen, wie sie in Abschnitt 9.1.2.2 empfohlen werden, trägt der Raum zwischen Rechen und Abschlussbauwerk nicht mehr zum Rückhaltevolumen bei. Besonders bei kleinen Sammlern reduziert sich dadurch das potentielle Ablagerungsvolumen. Ausserdem muss ein mit Holz verlegter und mit Geschiebe vollständig hinterfüllter Grobrechen praktisch gleich grosse Lasten aufnehmen wie die Abschluss Sperre des Sammlers. Wenn der Rechen nicht auf die Abschluss Sperre abgestützt werden kann, erfordert die Ableitung der aufzunehmenden Kräfte unter Umständen aufwendige Foundationen.

Aus diesen Gründen wurde in hydraulischen Modellversuchen die Möglichkeiten und Grenzen einer Tauchwandlösung für das Fallbeispiel des Sigetsbach in Sachseln (Kanton Obwalden) untersucht (*Bezzola, 2001; Bezzola et al., 2004 und VAW, 1999d*).

Nachfolgende Abb. 47 zeigt die konstruktive Ausbildung der Tauchwand. Die Tauchwand weist dieselbe Breite auf wie die Überfallsektion des Abschlussbauwerks und stützt sich auf letzteres ab. Kleinere Ereignisse können durch den Auslass in der Sperre ungehindert abfliessen. Der Spitzenabfluss beim Bemessungsereignis beträgt  $22 \text{ m}^3/\text{s}$ .

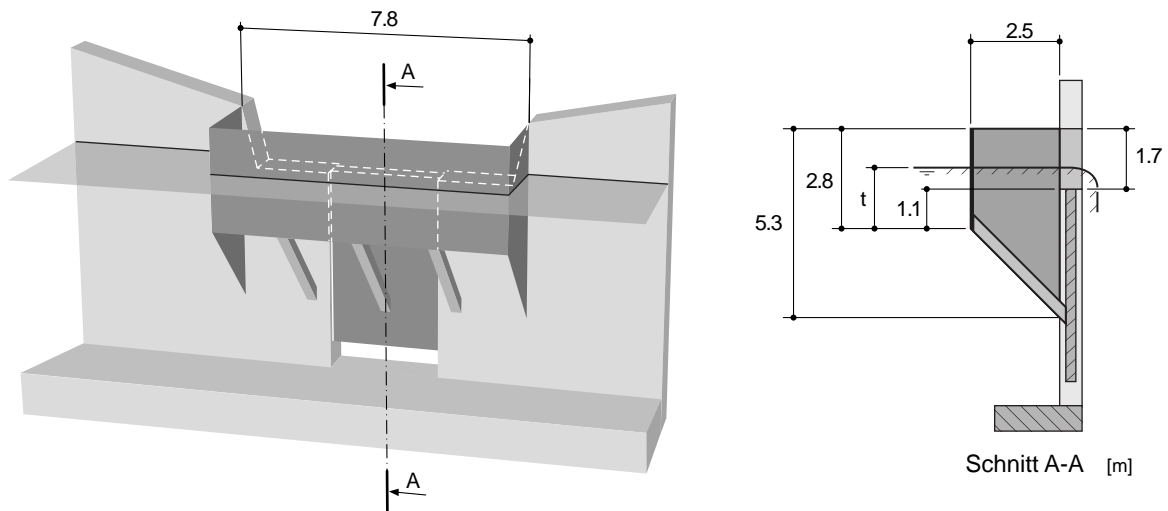


Abb. 47: Tauchwand zum Schwemmholzrückhalt im Geschiebesammler am Sigetsbach, Angaben in [m] (Blick in Fliessrichtung)

Bei grösseren Abflüssen wird gewollt ein Rückstau erzeugt, wodurch der Wasserspiegel im Sammler steigt. Ziel ist es, permanent einen genügend hohen Aufstau zu provozieren, damit das Schwemmholz hinter der Tauchwand zurückgehalten werden kann. Die Eintauchtiefe  $t$  der Tauchwand muss genügend gross sein, um dieses Kriterium zu erfüllen. Für den Bemessungsabfluss resultiert eine Eintauchtiefe  $t$  von 2 m (vgl. Abb. 48). Die Fliessgeschwindigkeiten für diesen Abfluss im engsten Querschnitt betragen ungefähr 1.8 m/s.

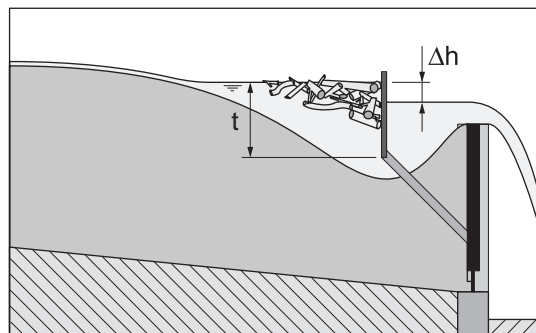


Abb. 48: Querschnitt durch die Tauchwand in einem Geschiebesammler

Wegen der Senkungskurve und der durch die Tauchwand verursachten Verluste ergibt sich vor der Tauchwand eine höhere Wasserspiegellage als in der Überfallsektion. Deshalb muss die Oberkante der Tauchwand genügend hoch über der Überfallkante des Abschlussbauwerks liegen. Im Fallbeispiel Sigetsbach betrug dieses Mass 1.7 m (Abb. 47). Um im Überlastfall ein Überströmen der Sperrenflügel des Abschlussbauwerks zu verhindern, darf die Tauchwand nicht über diese hinausragen.

Geneigte Abstützungen zwischen Tauchwand und Abschlussperre verhindern, dass Holz zwischen der Tauchwand und der Sperre eingeschlossen wird und anschliessend über die Überfallsektion ausgetragen werden kann. Zur Vermeidung grösserer hydraulischer

lischer Verluste  $\Delta h$  (siehe Abb. 48) beträgt der Abstand zwischen der Tauchwand und dem Abschlussbauwerk für den Fall Sigetsbach 2.5 m.

Die Abmessungen der Tauchwand müssen auf die Abmessungen der Sperre und die zu erwartenden Abflüsse abgestimmt sein. Die wichtigsten Anforderungen seien hier nochmals zusammengefasst:

- Die Oberkante der Tauchwand muss genügend weit über den maximalen Wasserspiegel reichen, damit das Holz nicht über die Tauchwand geschoben wird.
- Um im Überlastfall einen kontrollierten Überlauf sicherzustellen, darf die Oberkante der Tauchwand nicht über die Sperrenflügel hinausragen.
- Die Unterkante der Tauchwand muss gegenüber der Kote der Überfallsektion genügend tief angeordnet sein, damit kein Holz unter der Tauchwand hindurch gesogen werden kann.

Die Tauchwand am Sigetsbach wurde bislang noch nicht realisiert. Die nachfolgende Abb. 49 zeigt eine realisierte Tauchwand im Bitzighoferbach (Kanton Obwalden). In diesem Beispiel ist die Tauchwand kein durchgehendes Bauwerk, sondern eine Netzlösung. Netze wirken jedoch bei starker Verlegung wie ein durchgehendes Bauwerk (siehe dazu auch Abschnitt 9.3).



*Abb. 49: Tauchwand am Bitzighoferbach (Quelle: Amt für Wald und Raumentwicklung, Abteilung Naturgefahren des Kantons Obwalden)*

## 9.2.2 Tauchwand in einem Geschiebeablagerungsplatz

### 9.2.2.1 Gürbe bei Wattenwil

Die Kombination von Rechen und Tauchwand als Lösung für den Rückhalt von Holz und Geschiebe wurde an der **Gürbe bei Wattenwil** (Kanton Bern) mit Hilfe von hydraulischen Modellversuchen erarbeitet (*Lange und Bezzola, 2002*). Eine Übersicht ist im Abschnitt 9.4.2 zu finden. Grosszügige Platzverhältnisse erlauben hier eine räumliche Trennung von Holz und Geschiebe. Im Abschnitt 10.1 sind weitere Details zu diesem Projekt zu finden.

Am unteren Ende einer Gerinneaufweitung befindet sich ein nach oberstrom leicht gekrümmter Holzurückhalterechen. Da durch Geschiebeablagerungen in der Aufweitung die Flusssohle angehoben wird und ein mit Holz verlegter Rechen einen Aufstau verursacht, befindet sich seitlich des Rechens ein Notüberlauf. Dieser dient dazu, die Wasserspiegellage in der Aufweitung zu begrenzen und so ein Überströmen der seitlichen Dämme zu vermeiden (siehe auch Abb. 63).

Vor dem Notüberlauf wird eine Tauchwand angeordnet. Die Tauchwand soll verhindern, dass Holz über die Notentlastung in den Unterlauf abgeschwemmt wird. Die Tauchwand muss genügend tief eintauchen, damit nicht in der Anfangsphase des Ereignisses Holz über den Notauslauf ausgetragen wird. Wenn das erste Wasser über den Notüberlauf entlastet wird, beträgt die Eintauchtiefe 0.3 m, bei maximalem Abfluss näherungsweise 1.7 m.

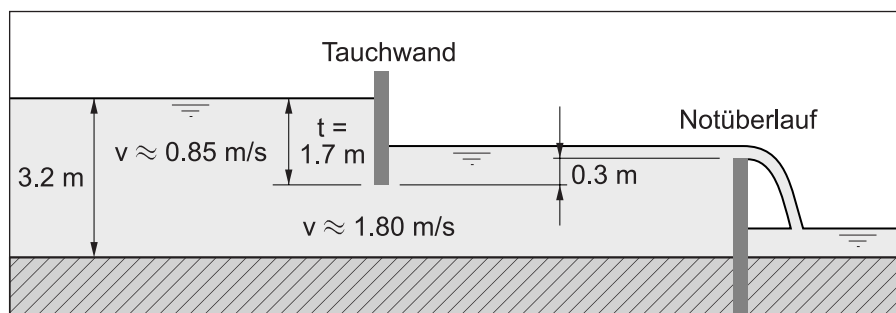


Abb. 50: Schematische Darstellung typischer Kenngrössen bei maximalem Abfluss an der Tauchwand, Fallbeispiel Gürbe

Nach dem Anspringen des Notüberlaufes wird ein Teil des Holzes gegen die Tauchwand getrieben und die Bildung eines Holzteppichs hinter der Tauchwand beginnt. Wie in Abb. 50 schematisch dargestellt, stellt sich bei maximalem Abfluss vor der Tauchwand eine Abflusstiefe von 3.2 m ein. Die tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit beträgt hier 0.85 m/s. Bei dieser Fließgeschwindigkeit lagert sich zusätzlich angeschwemmtes Holz am Ende des Holzteppichs an und wird nicht unter der Tauchwand hindurch gesogen. Die mittlere Geschwindigkeit im Querschnitt unter der Tauchwand



beträgt maximal 1.8 m/s. Ein praktisch identischer Wert resultiert auch für den Querschnitt zwischen dem in Abb. 47 gezeigten Abschlussbauwerk am Sigetsbach in Sachseln und der daran angebrachten Tauchwand.

### 9.2.2.2 *Kelchbach in Naters*

In **Naters** (Kanton Wallis) zeigten die Überschwemmungen im Jahre 1993, dass die Abflusskapazität des Kelchbaches ungenügend ist. Daher wurde oberhalb des Dorfes ein Geschieberückhaltebecken gebaut, in dem neben dem Geschiebe auch das Holz zurückgehalten werden soll. Ursprünglich war geplant, das Wasser im Geschiebesammler zu fassen und über einen ca. 2 km langen Umleitstollen direkt in die Rhone zu entlasten. Schlussendlich wurde aber entschieden, das Wasser zwar im Geschiebesammler zu fassen, aber direkt unterhalb der Sperre wieder in den Kelchbach zurückzugeben. Um die Hochwassersicherheit in Naters zu gewährleisten, wurde das Gerinne des Kelchbaches im Dorf weiter ausgebaut.

Den Abschluss des Geschieberückhaltebeckens (Volumen 34'000 m<sup>3</sup>) bildet eine Abschlussperre, die schon bei kleinen Abflüssen (ab ca. 6 m<sup>3</sup>/s) einen Einstau bewirkt. Dann kommt es zur Ablagerung des Geschiebes im Becken. Ab einem Abfluss von 25 m<sup>3</sup>/s ist der Aufstau im Becken so gross, dass das Wasser über eine Überlaufmulde in das Unterwasser entlastet wird. In Modellversuchen an der VAW wurde nach einer Lösung gesucht, das Holz im Sammler zurückzuhalten. Dabei hat sich eine Tauchwand vor der Überlaufmulde als Bestvariante erwiesen (*Weber et al., 2000 und VAW 1999a*).

Die Überfallmulde (siehe Abb. 51) ist auf eine Entlastungswassermenge von 80 m<sup>3</sup>/s bei einem Überstau von 1 m dimensioniert. Der radiale Abstand der Tauchwand zur Mulde betrug in den hydraulischen Modellversuchen 1.0 m. Die Unterkante der Tauchwand wurde 1.0 m unter der Muldenkrone angeordnet. Die Fliessgeschwindigkeiten im Querschnitt zwischen Tauchwand und Mulde betragen beim Bemessungsereignis rund 1.4 m/s.

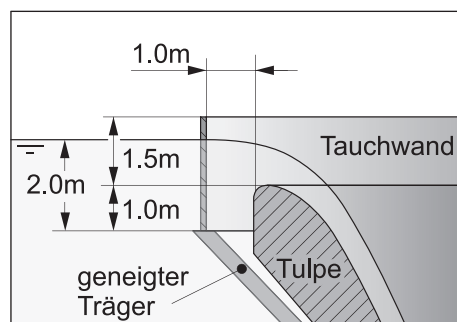


Abb. 51: Querschnitt Überlaufmulde und Tauchwand für den Kelchbach in Naters

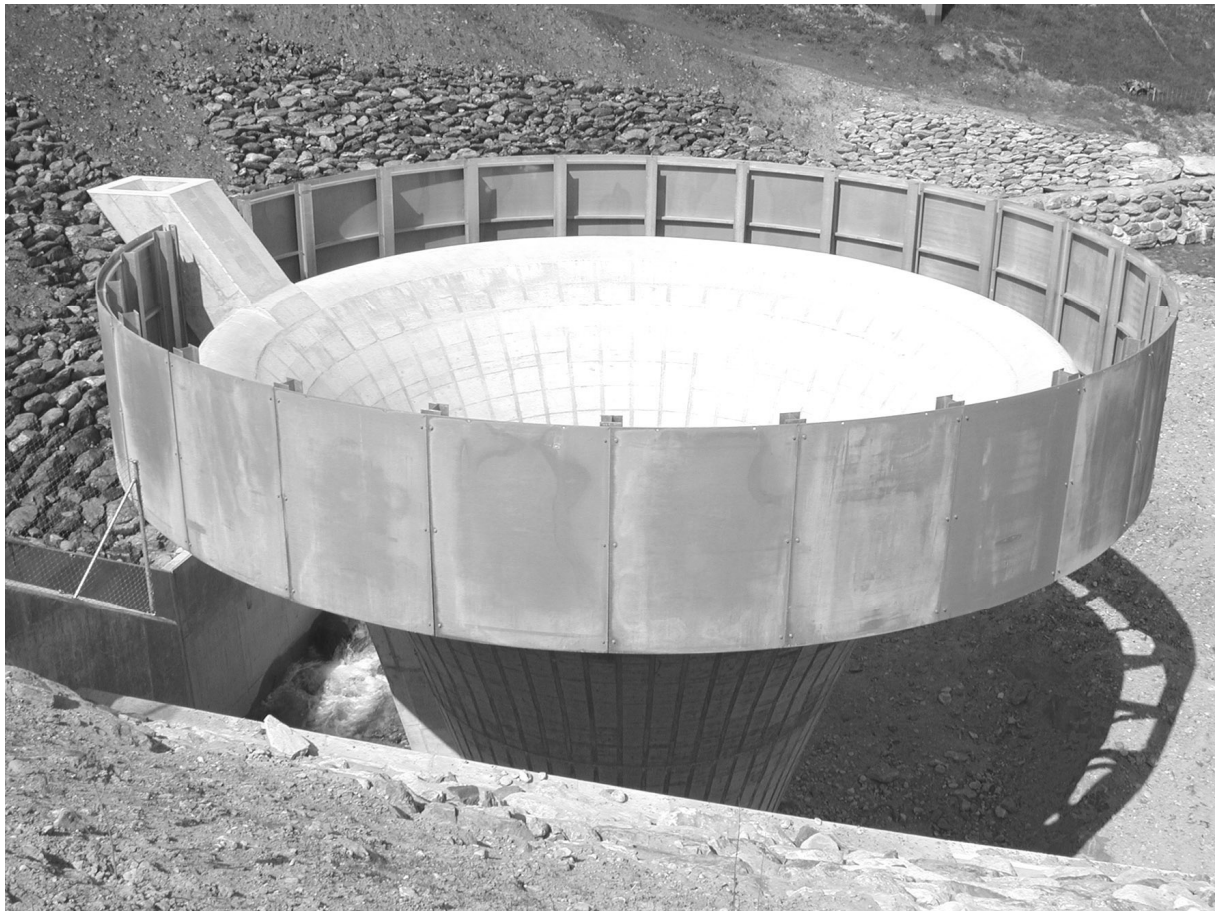
In der Anfangsphase des Ereignisses wurde beobachtet, dass vereinzelt Stämme zwischen Tauchwand und dem Aussenrand der Tulpe aufschwimmen und so in die Entlastungsanlage gelangen. Während der Hochwasserspitze wurde das Holz durch die Tauchwand grösstenteils abgewiesen und es bildete sich ein Holzteppich um die Tulpe (siehe Abb. 52).



*Abb. 52: Holzteppich um Tauchwand bei einer Holzzugabe von  $2'500 \text{ fm}^3$*

Die Tauchwand kann mit Trägern direkt an der Tulpe befestigt werden, wodurch sich die maximal in die Tulpe eingetragene Stammlänge reduziert. Damit das Holz nicht von unten an die Träger gepresst wird, empfiehlt es sich, diese schräg anzubringen, damit das Holz nach oben wegrutscht.

Die Tulpe mit Tauchwand im Geschiebesammler am Kelchbach in Naters wurde bereits realisiert (siehe Abb. 53).



*Abb. 53: Tulpe mit Tauchwand im Geschiebesammler am Kelchbach in Naters, Durchmesser der Tulpe ca. 14 m*

### 9.2.3 Fazit

Die Tauchwand bietet sich als platz sparende Alternative zu grossflächigen Rechenkonstruktionen in Geschiebesammlern an. Sie wird am Abschlussbauwerk abgestützt und beeinträchtigt die Kapazität des Sammlers kaum. Im Vergleich zu einem Rechen sind die auf eine Tauchwand wirkenden Kräfte deutlich geringer.

Die Tauchwandlösung bedingt zwingend einen Einstau und damit auch eine Geschiebeablagerung.

Wichtig bei der konstruktiven Ausbildung der Tauchwand sind Abweisevorrichtungen für das Schwemmholz, die verhindern, dass Holz in der Anfangsphase des Ereignisses unter der Tauchwand hindurch gezogen wird.

Die typischen Eintauchtiefen liegen im Bereich von 1.7 bis 2 m. Die Fliessgeschwindigkeiten im engsten Querschnitt betragen zwischen 1.4 und 1.8 m/s.

Der Schwemmholzteppich vor der Tauchwand ist näherungsweise 2-3mal so dick wie der Stammdurchmesser  $d$ .

## 9.3 Schwemmh Holznetze

### 9.3.1 Historische Entwicklung

Schon Anfang der 50er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde im Wildbachverbau mit Seilnetzsperrungen gearbeitet. Diese wurden aber nicht vornehmlich für den Holzurückhalt, sondern vor allem für den Rückhalt von Grobgeschiebe eingesetzt. Dabei kamen sehr grosse Maschenweiten oder auch reine Seilsperrungen ohne Netze zum Einsatz (*Kronfelder-Kraus, 1979*). Die beschriebenen Erfahrungen zeigen, dass meist ein vollständiger Geschieberückhalt stattfand. *Üblagger (1973)* beschreibt gute Erfahrungen mit Seilnetzsperrungen zum Rückhalt von Schwemmh Holz an der Stauwurzel von Sortiersperrungen. Dazu wurden U-Bootnetze aus ehemaligen Kriegsbeständen verwendet. In den USA und in Japan werden Netzkonstruktionen erfolgreich als Murgangsperrungen eingesetzt.

Seilnetzsperrungen für den Holzurückhalt wurden in Osttirol bereits in der Mitte des letzten Jahrhunderts gebaut. In Bayern wurden bis zum Jahr 1999 sieben Seilnetzsperrungen errichtet.

### 9.3.2 Aufbau

Die Schwemmh Holznetze werden seitlich in den Uferböschungen verankert und reichen nicht bis an die Gerinnesohle hinunter. Es besteht eine Öffnung zwischen Sohle und Netz (siehe Abb. 54). Diese Öffnung soll gewährleisten, dass kleinere Hochwasserereignisse ungehindert abgeführt werden können.



Abb. 54: Schwemmh Holznetz am Lahnenwiesgraben (Oberbayern); Fliessrichtung von rechts nach links (Quelle: Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München)

### 9.3.3 Anwendungsbereich

*Rimböck (2003)* beschreibt folgende Kriterien für die Anwendung von Schwemmholznetzen zum Holzrückhalt:

- Es sollte ein möglichst gerader Bachabschnitt gewählt werden, damit klare Strömungsverhältnisse herrschen und die Ufer gleichmässig belastet werden. Krümmungen mit einem Kurvenradius grösser als die 10fache Bachbreite sind noch geeignet.
- Das Gefälle sollte möglichst flach sein, damit ein grosser Rückhalteraum bei geringer Netzbelastung gewährleistet werden kann ( $J \leq 5 \%$ ).
- Die Bachufer sollten mindestens so hoch wie die Bemessungshöhe und flach geneigt sein.
- Die Sperrenstelle sollte gut zugänglich sein, um eine Räumung nach einem Hochwasserereignis einfach zu gestalten.
- Der spezifische Abfluss sollte unter  $5 \text{ m}^3/\text{sm}$  liegen.
- Die spezifische Holzmenge beim Bemessungsereignis darf nicht grösser als  $20 \text{ m}^3/\text{m}$  sein, die spezifische Geschiebemenge beim Bemessungsereignis kleiner als  $100 \text{ m}^3/\text{m}$ .

### 9.3.4 Beschreibung des Rückhaltevorganges

Bei einem Hochwasserereignis steigen zu Beginn der Abfluss im Bach und damit der Wasserspiegel. Ab einem gewissen Abfluss übersteigt der Wasserspiegel die Unterkante des Schwemmholznetzes. Dann trifft das schwimmende Holz direkt auf das Netz und wird an das Netz gedrückt. Bereits vorher kann der Rückhaltevorgang initiiert werden, wenn ein verzweigtes Holzstück sich zwischen Flusssohle und Netz verkeilt. Dadurch entsteht ein Aufstau. Das nächste ankommende Holz erreicht das Netz oberhalb des ersten Stammes. Der Holzverhau entwickelt sich von der Flusssohle aus vertikal nach oben (Abb. 55 a).

Mit wachsender Abflusstiefe nimmt die Fliessgeschwindigkeit oberstrom des Netzes ab. Der Aufstau steigt weiter an, so dass sich weiter ankommende Holzstämme oberhalb der ersten Stämme anlagern. Die Holzansammlung wächst weiterhin in vertikale Richtung, beginnt aber auch horizontal vom Netz Richtung oberstrom anzuwachsen (Abb. 55 b).

Die Fliessgeschwindigkeit nimmt weiter ab, das neu ankommende Holz lagert sich oberstrom des bereits zurückgehaltenen Holzes an. Der Holzverhau wächst in horizontaler Richtung nach oberstrom (Abb. 55 c).



Mit wachsendem Holzteppich und gleich bleibender Abflusstiefe wächst die Fließgeschwindigkeit unter dem Holzteppich nun wieder an und es ist möglich, dass durch die schnellere Strömung Holz unter dem Netz hindurch gesogen werden kann (Abb. 55 d).

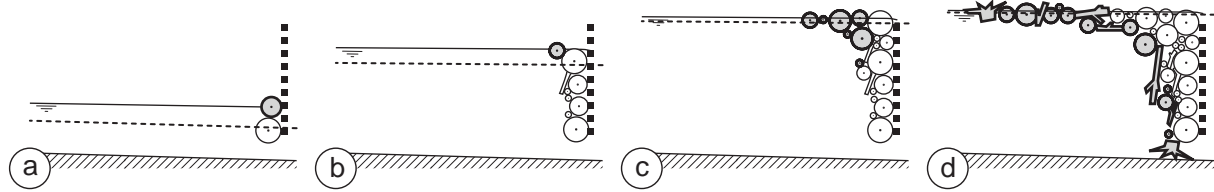


Abb. 55: Entwicklung des Holzverhaus während des Rückhaltevorgangs  
(Rimböck, 2003)

Durch den Aufstau, der schon bei geringem Holzrückhalt einsetzt, verringern sich die Fließgeschwindigkeiten im Staubereich, so dass neben dem Holzrückhalt in den meisten Fällen auch ein nahezu vollständiger Geschieberückhalt stattfindet. Dies wurde beispielsweise auch bei einem Hochwasser am Faulengraben in Oberbayern beobachtet (Abb. 56). Das Schwemmholznetz hielt Schwemmholz und Geschiebe gleichermaßen zurück.



Abb. 56: Beaufschlagtes Schwemmholznetz am Faulengraben (Oberbayern), Blick gegen die Fließrichtung (Quelle: Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserrwirtschaft der TU München)

### 9.3.5 Wichtige Erkenntnisse

Die **Fliessgeschwindigkeiten am oberen Ende des Holzteppichs** sollten  $0.8 - 1 \text{ m/s}$  nicht überschreiten (*Rimböck, 2003*). Bei höheren Werten wird der Holzteppich durch die Strömungskräfte zusammen geschoben. Diesen Wert bestätigen auch Modellversuche an der VAW, welche zur Überprüfung eines Holzrückhalts mittels Schwemmholznetzen an der Enziwigger durchgeführt wurden (*VAW, 2003*). In der Abb. 57 sind die Ergebnisse für den Holzrückhalt dargestellt.

Wie Abb. 57 zeigt, können bis zu einem Abfluss von ca.  $5 \text{ m}^3/\text{sm}$  über 80 % des zugegebenen Holzes mit den Schwemmholznetzen zurückgehalten werden. Bei steigendem Abfluss nimmt der Holzrückhalt rapide ab. Der Holzteppich wird zusammen geschoben und das Holz wird über das Netz ausgetragen. Beim Abfluss von  $5 \text{ m}^3/\text{sm}$  wird auch die Grenzgeschwindigkeit von  $0.8 \text{ m/s}$  überschritten. Dies deckt sich mit den Aussagen von *Rimböck (2003)*, der  $5 \text{ m}^3/\text{sm}$  als Belastungsgrenze für Schwemmholznetze angibt (vergleiche auch Abschnitt 9.3.3).

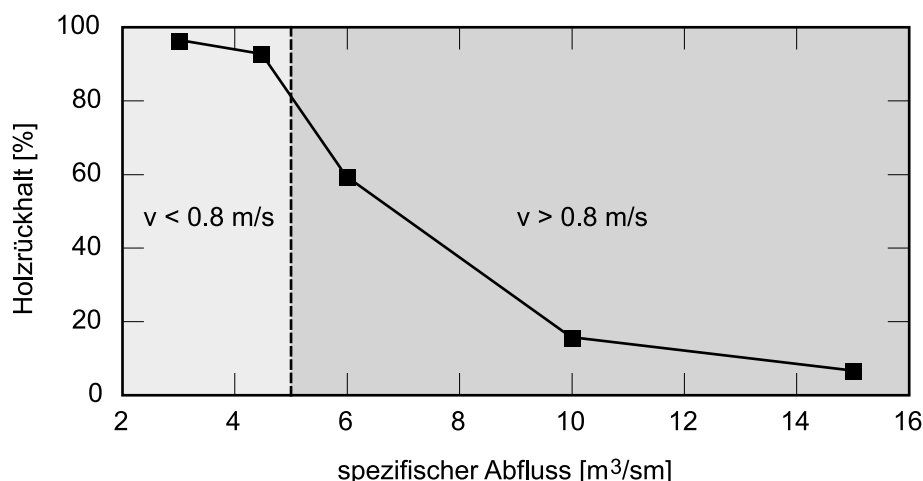


Abb. 57: Holzrückhalt Enziwigger in Modellversuchen in Abhängigkeit vom spezifischem Abfluss

Für die **Bemessung eines Schwemmholznetzes** können folgende Überlegungen angestellt werden:

- Unter der Voraussetzung, dass das Netz vollständig verlegt ist, d.h. mehr oder weniger kein Wasser mehr durch das Netz abfließen kann, kann das Schwemmholznetz auch als vollkommener Überfall betrachtet werden (siehe Abb. 58). Es gelten folgende Kriterien für die Überfallhöhe  $h_k$  im Bezug zum Stammdurchmesser  $d$  (*Zollinger, 1983*):

$h_k < d$  um ein Abschwemmen einzelner Stämme zu verhindern

$h_k < (3-4) d$  um ein Abschwemmen von grösseren Holzpaketen zu verhindern



- Im vom Aufstau noch unbeeinflussten Flussabschnitt oberhalb des Netzes kann in den meisten Fällen Normalabfluss (Normalabflusstiefe  $h_n$  in Abb. 58) angenommen werden. Direkt vor dem Netz kann durch den zu erwartenden Aufstau von strömenden Verhältnissen ausgegangen werden. Ziel bei der Bemessung des Schwemmholznetzes muss es nun sein, den Wechselsprung möglichst weit weg vom Netz zu halten, um Strömungen zu vermeiden, die das Holz über die Netzoberkante schieben könnten.
- Die Grösse der unteren Öffnung des Schwemmholznetzes (zwischen Netz und Sohle) bestimmt den Anfangspunkt des Rückhaltevorganges. Bei kleinen Öffnungen beginnt der Rückhaltevorgang früher als bei grösseren Öffnungen. Die untere Öffnung wird jedoch im weiteren Verlauf des Ereignisses meistens verlegt und der Geschiebetransport wird praktisch vollständig unterbrochen.

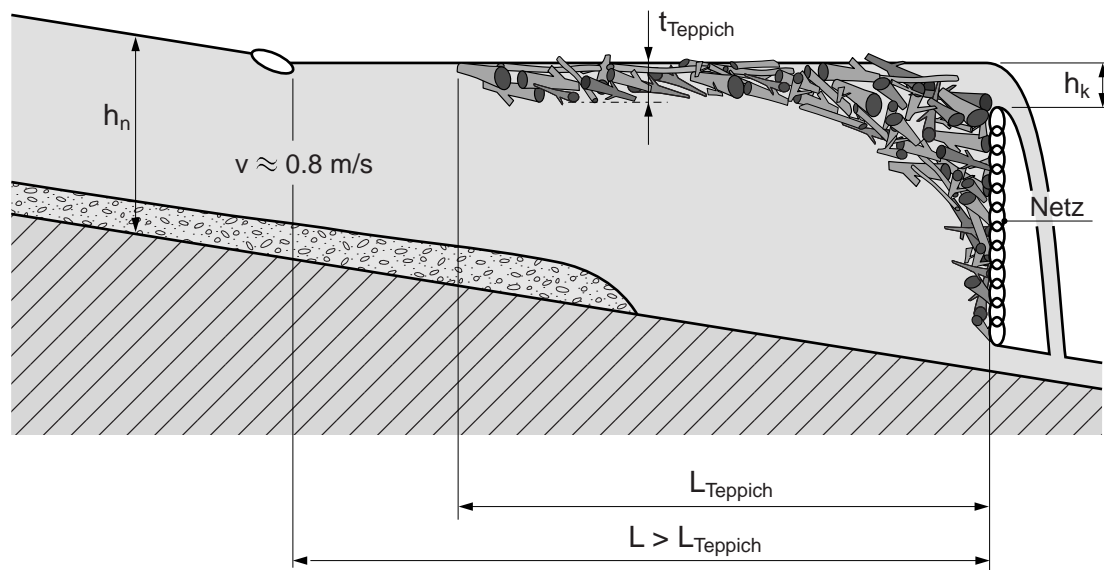


Abb. 58: Schematische Darstellung der hydraulischen Verhältnisse bei einem dicht verlegten Schwemmholznetz

Der Wechselsprung muss mindestens soweit vom Netz entfernt sein wie die zu erwartende Teppichlänge. Die Teppichlänge  $L_{Teppich}$  kann folgendermassen berechnet werden:

$$L_{Teppich} = \frac{V}{B \cdot t_{Teppich}} \quad [13]$$

wobei  $V$  das Holzvolumen und  $B$  die Breite bezeichnen. Die Teppichdicke  $t_{Teppich}$  in ungestörten eingestauten Verhältnissen kann ungefähr mit 2 bis 3mal Stammdurchmesser  $d$  angenähert werden.

Rimböck (2003) hat in seinen Versuchen an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München hauptsächlich die auf die Schwemmholznetze las-

tenden **Kräfte** ermittelt. Er stellt fest, dass die dynamischen Belastungen nur zu Beginn des Rückhaltevorganges auftreten. Die dabei auftretenden Seil- und Ankerkräfte sind dabei im Vergleich zur statischen Endbelastung gering.

Die **Maschenweite** des Schwemmholznetzes hat keinen grossen Einfluss auf den Holzurückhalt. *Rimböck (2003)* hat in seinen Untersuchungen zwei verschiedene Maschenweiten getestet. Ziel war es zu überprüfen, ob mit einer grösseren Maschenweite ein grösserer Anteil an Feinanteil (Zweige, Gras, Laub etc.) in das Unterwasser abgeführt werden kann. Es kann kein nennenswerter grösserer Durchgang an Feinmaterial verzeichnet werden. Mit dem beginnenden Holzurückhalt wird die zur Verfügung stehende Öffnungsweite der Maschen verringert und bereits nach sehr kurzer Zeit ist die tatsächliche Maschenweite nicht mehr relevant.

### 9.3.6 Fazit

Schwemmholznetze werden senkrecht zur Gerinneachse in einem Gewässer befestigt. Daher weisen sie, im Gegensatz beispielsweise zu den V-Rechen, eine minimale Fläche auf und müssen grosse spezifische Abflüsse abführen. Dadurch werden die Schwemmholznetze sehr dicht verlegt, was zu einem hohen Aufstau des Wassers führt.

Holzurückhalt mit Schwemmholznetzen bedeutet gleichzeitig auch immer einen nahezu vollständigen Geschieberückhalt. Kleinere Ereignisse können durch die Bodenöffnung abgeführt werden, aber sobald Holz zurückgehalten wird, muss auch immer mit einem Geschieberückhalt gerechnet werden.

Schwemmholznetze können bis zu einem spezifischen Abfluss von  $5 \text{ m}^3/\text{sm}$  eingesetzt werden. Wenn der spezifische Abfluss dieses empfohlene Mass überschreitet, muss mit einem Versagen der Schwemmholznetze gerechnet werden, und zwar in der Art, dass der Holzteppich zusammen geschoben wird und sich das Holz zu einem Haufen auftürmt. Das Holz kann dann über das Schwemmholznetz abgeschwemmt werden.

Die Fliessgeschwindigkeit am oberen Ende des Holzteppichs sollte 0.8 bis 1 m/s nicht überschreiten, um ein Zusammenschieben des Teppichs zu verhindern.

Die Maschenweite des Schwemmholznetzes hat nur in der Anfangsphase des Ereignisses einen Einfluss auf den Holzurückhalt.

## 9.4 Räumlich getrennter Holz- und Geschieberückhalt

Wo die Platzverhältnisse es zulassen, kann ein räumlich getrennter Holz- und Geschieberückhalt angestrebt werden. Dies bietet vor allem Vorteile für den Unterhalt, denn die Räumung nach einem Hochwasserereignis ist viel weniger aufwendig, wenn Holz und Geschiebe getrennt voneinander abgelagert werden.

### 9.4.1 Steinibach bei Hergiswil

Ein Beispiel für das Konzept eines räumlich getrennten Holz- und Geschieberückhalts ist der **Steinibach bei Hergiswil** (Kanton Nidwalden). In Modellversuchen wurde überprüft, wie mit den drei bestehenden Bogensperren das Ziel am besten erreicht werden kann (*Bezzola, 2001 und VAW, 2000*). Die Abb. 59 zeigt den erarbeiteten Lösungsvorschlag in der Situation.

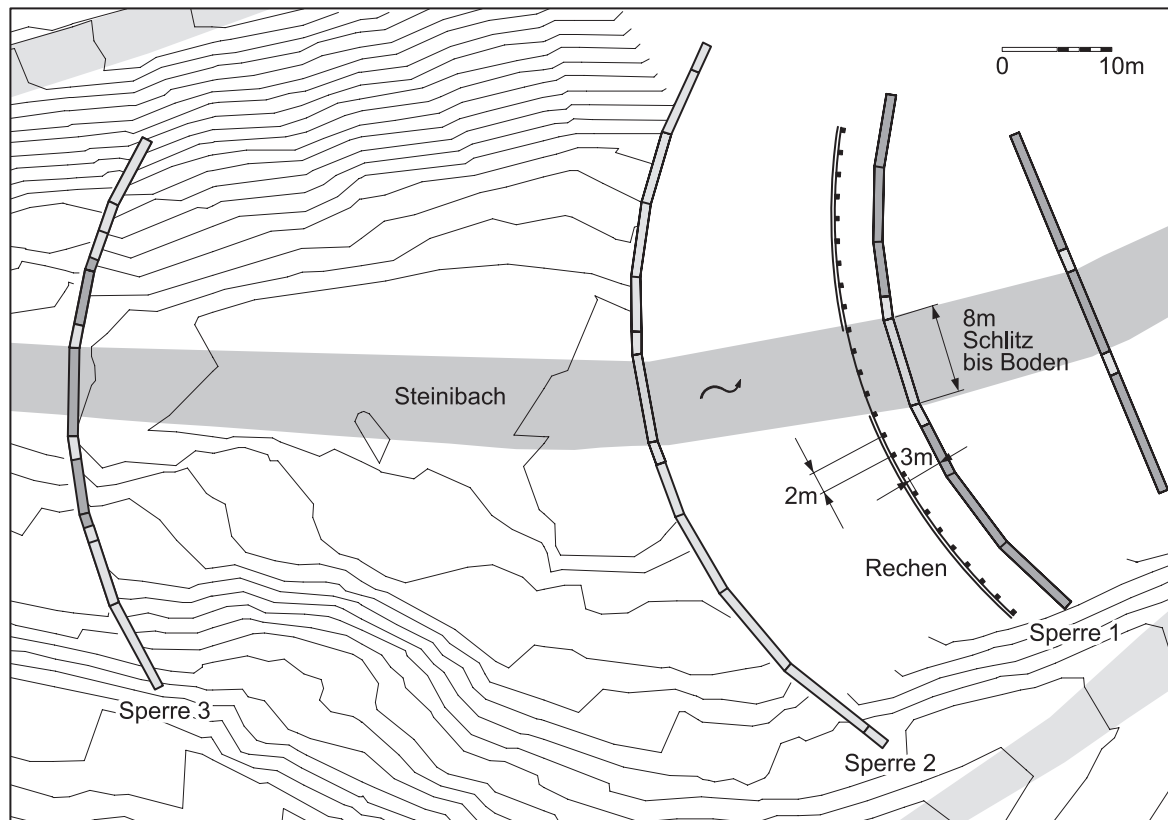


Abb. 59: Lösungsvorschlag am Steinibach – Situation

Wie Abb. 60 zeigt, beginnt sich beim Anstieg des Hochwassers das eingetragene Geschiebe im obersten Becken (oberhalb von Sperre 3) deltaförmig abzulagern, wobei die Geschiebefront flussabwärts wandert. Nachdem die Geschiebefront die Sperre 3 erreicht hat, wird das über die Ablagerungen bis zur Sperre antransportierte Geschiebe über die Überfallsektion ins zweite Becken (zwischen Sperre 2 und 3) verfrachtet. Am Fuss der Sperre bildet sich dann wieder eine Geschiebefront, die langsam flussabwärts

wandert. Die beiden Becken entsprechen in ihrem Volumen gerade dem zu erwartenden Geschiebevolumen.

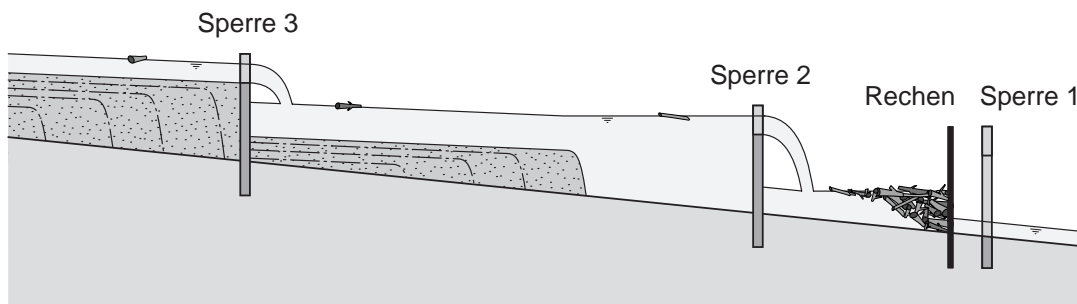


Abb. 60: Schematische Darstellung des Ablagerungsvorgangs

Das Schwemmholz wird zunächst im obersten Becken oberhalb der Sperre 3 zurückgehalten. Wenn die Abflusstiefen bei der Überfallsektion der Sperre 3 genügend gross sind, kann das Schwemmholz auch über die Sperre 3 in das Becken zwischen Sperre 2 und 3 abtransportiert werden. Bei genügend grosser Abflusstiefe bei der Überfallsektion der Sperre 2 ist ein Abtransport des Schwemmholzes in das Becken zwischen Sperre 1 und 2 möglich. Dort wird das Schwemmholz durch eine vorgelagerte Rechenkonstruktion zurückgehalten (siehe auch Abb. 61). Um das vorhandene Volumen vollständig nutzen zu können, darf dieses Becken jedoch nicht eingestaut werden. Deshalb wird die unterste Sperre 1 mit einem 8 m breiten Schlitz versehen.



Abb. 61: Lösungsvorschlag am Steinibach im Modellversuch – nach Überlastfall

In den seitlichen Bereichen ist der Rechen zusätzlich durch Netze abgedeckt (siehe Abb. 62). Diese sollen den seitlichen Holzdurchgang verhindern. Der Mittelteil des Rechens ist auf einer Höhe von 0.7 m ein Stahlseil als Traverse angebracht, welches die Bildung einer Holzansammlung vor dem Rechen in der Anfangsphase eines Ereignisses begünstigen soll.

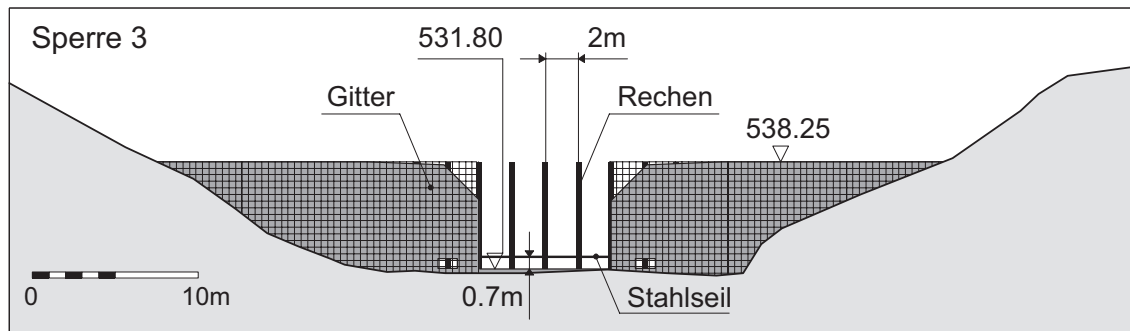


Abb. 62: Lösungsvorschlag am Steinibach – die Sperre 1 im Querschnitt

#### 9.4.2 Gürbe bei Wattenwil

Grosszügige Platzverhältnisse lassen auch an der **Gürbe bei Wattenwil** (Kanton Bern) einen räumlich getrennten Holz- und Geschieberückhalt zu. Das Holz wird am Holzurückhalterechen am Ende einer Aufweitung zurückgehalten, eine Tauchwand verhindert das Abschwemmen des Holzes über den Notüberlauf. Nähere Details zu diesem Projekt finden sich in Abschnitt 10.1.

Das zugeführte Holz lagert sich am Rechen ab und verlegt diesen. Das bewirkt einen raschen Aufstau des Wassers vor dem Rechen und die Bildung eines Sees. In diesem Stadium zugeführtes Geschiebe wird durch die verkleinerte Schleppkraft am Anfang des Sees abgelagert. Diese Geschiebefront wandert während des Ereignisses deltaförmig immer weiter flussabwärts. Die Modellversuche haben aber gezeigt, dass auch beim Überlastfall die Geschiebefront den Holzteppich nicht erreicht und die Ablagerung von Holz und Geschiebe getrennt erfolgen kann (siehe Abb. 63).



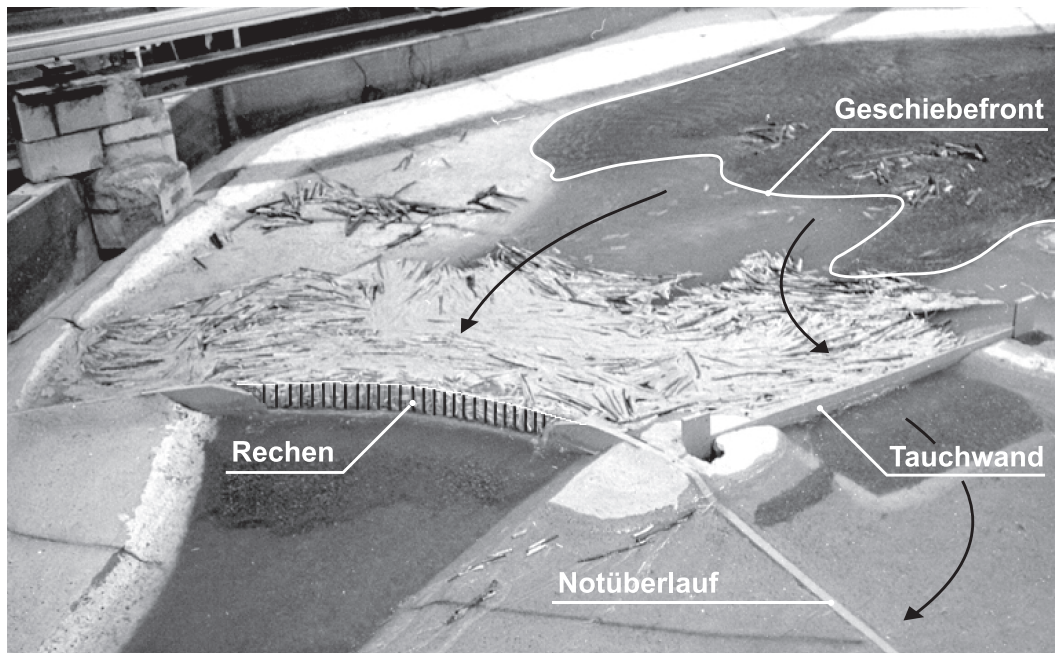


Abb. 63: Räumlich getrennter Holz- und Geschieberückhalt an der Gürbe bei Wattenwil; Modellversuch für den Überlastfall

### 9.4.3 Fazit

Sind die Platzverhältnisse grosszügig genug, so kann durch eine räumliche Trennung des Holz- und Geschieberückhaltes der Aufwand für die nach einem Hochwasserereignis nötige Räumung reduziert werden.

Im Fallbeispiel Steinibach werden das Geschiebe und das Schwemmholz an hintereinander liegenden Sperren zurückgehalten. Es stehen drei Rückhalteräume zur Verfügung, von denen die oberen zwei für den Geschieberückhalt und das untere Becken für den Holzurückhalt genutzt wird.

Im Fallbeispiel Gürbe wird durch den Rückhalt des Holzes am Rechen ein Aufstau provoziert, durch den die Fliessgeschwindigkeiten reduziert werden. Dadurch lagert sich das Geschiebe deltaförmig am Beginn der Aufweitung ab, während das Schwemmholz am unteren Ende der Aufweitung – am Rechen – zurückgehalten wird.

## 9.5 Selektiver Schwemmholzrückhalt

Für den Fall, dass für die Einrichtung eines Geschiebe- bzw. Holzurückhaltebauwerkes nicht genügend Platz vorhanden ist, kann ein selektiver Holzurückhalt angestrebt werden. Das bedeutet, dass nur diejenigen Teile des Schwemmholzes zurückgehalten werden, die flussabwärts auch tatsächlich zu Problemen führen. Dabei kann es sich einerseits um spezielle Holzklassen handeln oder um eine generelle Reduktion der Holzmenge, um die Verklauungsgefahr flussabwärts zu verringern.

### 9.5.1 Selektiver Rückhalt von Wurzelstöcken (enge Verhältnisse)

Oberhalb des Dorfes Sisikon (Kanton Uri) verläuft der Riemenstaldnerbach im tief eingeschnittenen, engen Tal. Das Gerinne und die seitlichen Böschungen sind mit einer Sperrentreppe stabilisiert. Für einen wirkungsvollen Geschieberückhalt fehlt hier der erforderliche Raum. In Sisikon queren die Axenstrasse und die Gotthardlinie der SBB den Riemenstaldnerbach. Bei Hochwasserereignissen mit starker Geschiebeführung kann es in der Bachschale zu kritischen Situationen durch Geschiebeablagerungen kommen, wenn die lichte Höhe unter den Brücken reduziert wird. Gleichzeitig besteht im Einzugsgebiet des Riemenstaldnerbaches ein beträchtliches Potential an Wurzelstöcken, die bei Hochwasser mobilisiert werden könnten (*Lange et al., 2004 und VAW, 2001*).

Es sind primär diese Wurzelstöcke, die in Sisikon eine Verklausung der Brücken auslösen können. Aufgrund der sehr begrenzten Platzverhältnisse in dem durch eine Sperrentreppe verbauten Gerinne muss oberhalb des Dorfes nach Lösungen für den selektiven Rückhalt dieser sperrigen Elemente gesucht werden. Dabei soll wegen des fehlenden Rückhalterausms die Durchgängigkeit für Stammholz und Geschiebe weitgehend gewährleistet bleiben.

Die lichten Höhen der betroffenen Brücken im Dorf Sisikon liegen zwischen 2.8 und 3.2 m. Mit den zu erwartenden Geschiebeauflandungen werden die Abmessungen reduziert, so dass dann im schlimmsten Fall nur noch 1.30 m lichte Höhe zur Verfügung stehen.

Die Grundidee der im hydraulischen Modell entwickelten Lösung besteht darin, den hinsichtlich Verklausung kritischen Querschnitt flussaufwärts in den Bereich der Sperrentreppe (9% Gefälle) zu verlegen. Der kritische Querschnitt wird durch horizontale Stahlträger gebildet, die vom Ufer her in den Abflussquerschnitt hineinragen und bis etwa in die Mitte des Gerinnes reichen. Pro Bauwerk werden jeweils drei Horizontalträger vorgesehen, um der variablen Sohlenlage Rechnung zu tragen (siehe Abb. 64).

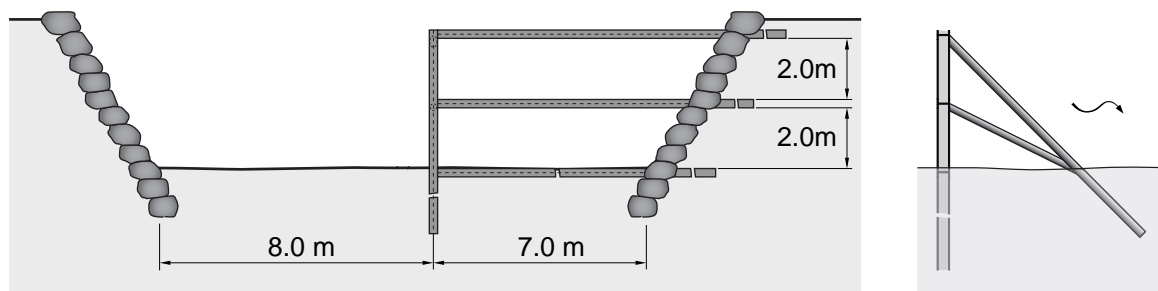


Abb. 64: Ansicht (links) und Schnitt (rechts) der Wurzelstockfänge

Da bei einem 20jährigen Ereignis mit ca. 5, beim 100jährigen Ereignis mit ca. 30 und beim Extremereignis mit über 60 Wurzelstöcken gerechnet werden muss, sind



mehrere Rückhaltebauwerke erforderlich. Diese werden versetzt angeordnet (siehe Abb. 65), um eine optimale Anströmung der Bauwerke zu erreichen.

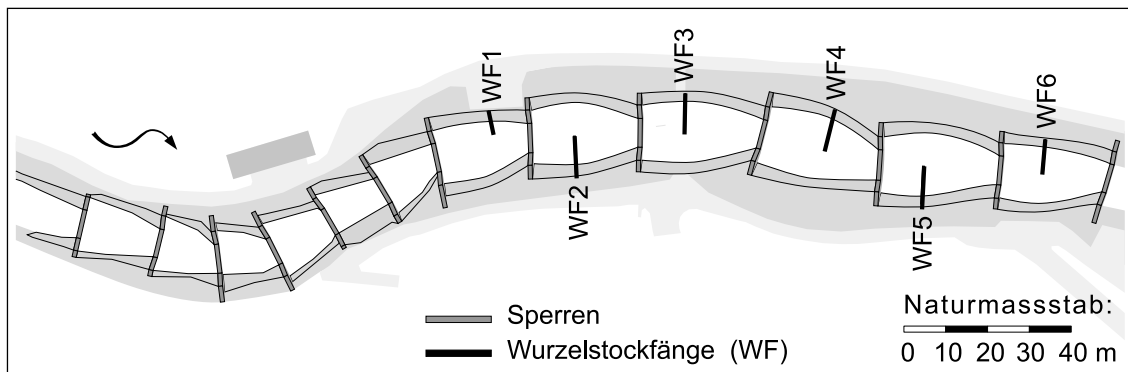


Abb. 65: Anordnung der sechs Wurzelstockfänge(WF) zum selektiven Schwemmholzrückhalt in der Sperrentreppe des Riemenstaldnerbaches

Die unverlegte Struktur behindert den Abfluss und Geschiebetransport nicht und erweist sich als relativ durchgängig für Stammholz. Verfängt sich ein Wurzelstock, so lagert sich rasch weiteres Holz an und es bildet sich eine im Grundriss dreieckförmige Holzansammlung, welche die Strömung an das gegenüberliegende Ufer lenkt (siehe Abb. 66). Dies erfordert einen entsprechend massiven Uferschutz. Im frei bleibenden Teil des Querschnitts wird der Abfluss stark konzentriert, so dass es hier zur Kolkbildung kommt. Der Uferschutz und die Mittelabstützung des Rahmens müssen deshalb entsprechend tief fundiert werden.



Abb. 66: Beaufschlagter Wurzelstockfang im Modell (Blick gegen Fliessrichtung)

### 9.5.2 Selektiver Rückhalt zur Reduktion der Holzmenge (breite Gerinne)

In breiten Gerinnen mit verzweigter Morphologie lagert sich ein Teil des mitgeführten Schwemmholzes natürlicherweise ab, da die Abflusstiefen lokal klein sind und das Holz eher in Kontakt mit der Sohle gerät als in schmalen Gerinnen bei gleichem Abfluss. Abb. 67 zeigt als Beispiel für die natürliche Schwemmholzablagerung die Obere Isar. In Modellversuchen an der VAW wurde untersucht, wie sich dieses natürliche Ablagerungspotential mit verteilten Hindernissen erhöhen lässt (*Lange et al., 2004; VAW, 2004*). Dabei wurde aber nur Stammholz untersucht, Wurzelstöcke wurden nicht geprüft.



*Abb. 67: Natürlicher Holzrückhalt in einem breiten und verzweigten Flussabschnitt an der Oberen Isar*

Bei ansteigendem Hochwasser kann sich das zugeführte Holz bis zu einer bestimmten Grenzabflusstiefe im Gerinne ablagern. Das Holz wird jedoch wieder mobilisiert, wenn der Abflusstiefe über die Grenzabflusstiefe ansteigt. Bei abklingendem Hochwasser lagert sich das Holz wieder ab, sobald die Grenzabflusstiefe unterschritten wird. Die verteilten Hindernisse sollen den Holzrückhalt besonders in der Phase, wo die Grenzabflusstiefe überschritten wird, fördern.

Die Hindernisse hatten in den Modellversuchen die Form von kleinen, wenige Meter breiten Rechen (Abb. 68). Diese haben den Vorteil, dass auch bei grösseren Variationen der Sohlenlage, wie sie typisch für breite und verzweigte Gerinne sind, die wirksame Breite der Bauwerke konstant bleibt.

Die Modellversuche wurden anhand von Ganglinienversuchen für verschiedene Hochwasserereignisse durchgeführt (siehe Tab. 5). In der Tabelle sind auch die gemessenen mittleren Abflusstiefen aufgetragen.

	Abflussspitze [m <sup>3</sup> /s]	Holzzufuhr [fm <sup>3</sup> ]	mittlere Abflusstiefe [m]
20jähriges Ereignis	50	1'000	0.34
100jähriges Ereignis	95	2'000	0.49
Extremereignis	160	3'000	0.68

*Tab. 5: Szenarien für die Modellversuche mit gemessenen mittleren Abflusstiefen*

Die Hindernisse wurden, wie in Abb. 68 zu sehen, im Flussabschnitt (Gefälle 2.5%) gleichmässig angeordnet, so dass das unterhalb liegende Hindernis ausserhalb des Strömungsschattens des flussaufwärts platzierten Hindernisses liegt. Durchschnittlich befindet sich pro 1000 m<sup>2</sup> ca. 1 Hindernis.



*Abb. 68: Verteilte Hindernisse im Modellversuch (Blick gegen die Fliessrichtung)*

Die Modellversuche zeigen, dass die Hindernisse während der Hochwasserspitze einen Abtransport des Schwemmhholzes verhindern. Der Holzurückhalt konnte, wie Abb. 69 zeigt, besonders beim 100jährigen Ereignis und beim Extremereignis erhöht werden.

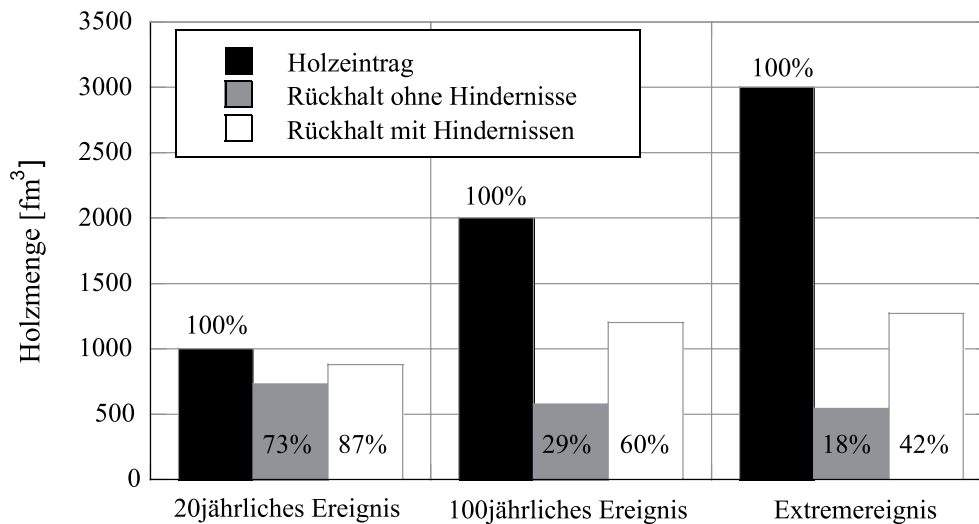


Abb. 69: natürlicher Holzurückhalt (ohne Hindernisse) und Holzurückhalt mit verteilten Hindernissen in einem breiten Gerinne

Der gesamte Holzurückhalt wurde im Modell in zwei Kategorien unterteilt. Die Hölzer, die direkt am Hindernis zurückgehalten wurden, wurden zur Kategorie „Holzurückhalt am Hindernis“ und die Hölzer, die auf der Flusssohle zwischen den Hindernissen abgelagert wurden, zur Kategorie „Holzurückhalt auf der Flusssohle“ gezählt (Abb. 70).

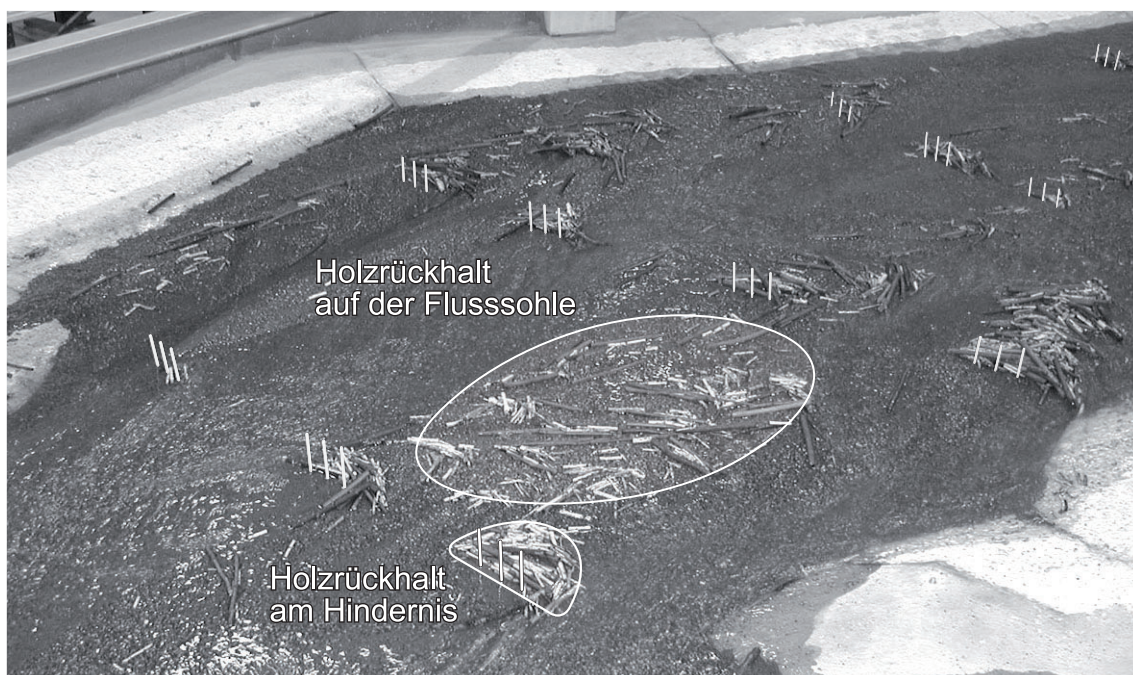


Abb. 70: Holzurückhalt mit verteilten Hindernissen - die zwei Kategorien „Holzurückhalt am Hindernis“ und „Holzurückhalt auf der Flusssohle“

In den Versuchen wurde festgestellt, dass der Holzrückhalt auf der Flusssohle bei allen drei Hochwasserereignissen (siehe Tab. 5) mehr oder weniger konstant blieb, der Rückhalt an den Hindernissen jedoch beim 20jährlichen Ereignis deutlich kleiner ist als beim 100jährlichen Ereignis und beim Extremereignis. Je grösser das Hochwasserereignis ist, desto grösser der Beitrag der Hindernisse zum Holzrückhalt. Nachfolgende Tab. 6 zeigt die Ergebnisse.

	20jährliches Ereignis		100jährliches Ereignis		Extremereignis	
Holzeintrag	1'000		2'000		3'000	
Rückhalt (gesamt)	878	(87%)	1'203	(60%)	1'267	(42%)
Rückhalt an Hindernissen	346	(39%)	793	(66%)	819	(65%)
Rückhalt auf Flusssohle	532	(61%)	410	(34%)	448	(35%)

*Tab. 6: Holzeintrag und Holzrückhalt bei den Versuchen mit verteilten Hindernissen; Aufteilung des Holzrückhalts in die Kategorien „Rückhalt an Hindernissen“ und „Rückhalt auf Flusssohle“; Angaben in [fm<sup>3</sup>]*

Dabei wirken nicht alle Hindernisse in gleichem Masse effektiv - während einige Hindernisse mit über 100 fm<sup>3</sup> beaufschlagt sind, tragen andere Hindernisse gar nicht zum Holzrückhalt bei. Der durchschnittliche Holzrückhalt pro Hindernis liegt zwischen 23 fm<sup>3</sup> (20jährliches Ereignis) und 55 fm<sup>3</sup> (100jährliches Ereignis und Extremereignis).

Eine Erhöhung der Rückhaltewirkung wurde insbesondere festgestellt, wenn die Hindernisse nah am Ufer angeordnet werden (siehe Abb. 71). Das Hindernis wird dadurch effektiv breiter, da das Ufer zum Holzrückhalt mit beiträgt.

Der Holzrückhalt mit verteilten Hindernissen beeinflusst ausserdem die Geschiebeführung. Die Hindernisse begünstigen die Geschiebeablagerungen. In den Modellversuchen wurde mit Hindernissen ein um 20 bis 25 % geringerer Geschiebeaustrag festgestellt.





Abb. 71: Holzrückhalt am Hindernis unter Ausnutzung der Uferrauigkeit ( $175 \text{ fm}^3$ )

Weiterhin wurde versucht, mit den Hindernissen eine lenkende Wirkung zu erzielen. Durch eine gezielte Anordnung der Hindernisse sollte das Schwemmholz zur Ablagerung auf dem Flachufer an der rechten Kurvenaussenseite gelenkt werden.

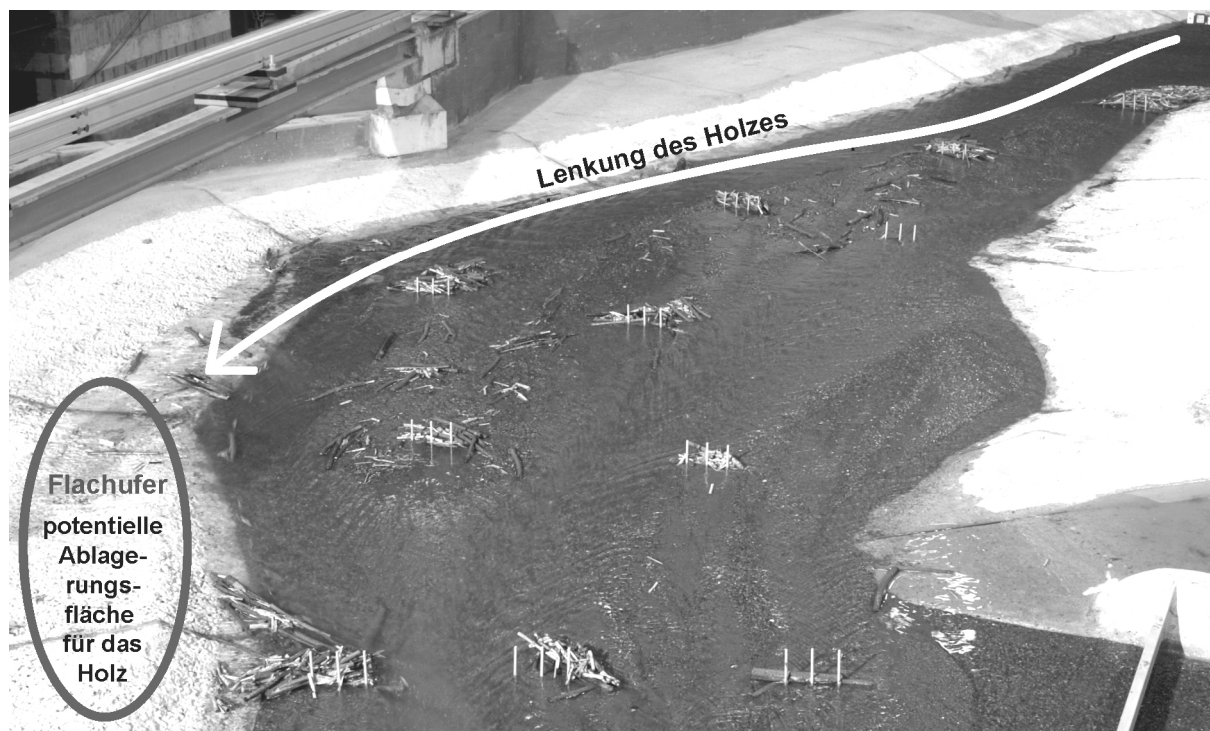


Abb. 72: Versuchte Lenkung des Schwemmholzes zur Ablagerung auf dem Flachufer an der Kurvenaussenseite

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Lenkung des Holzes zwar möglich ist, die erwünschte Ablagerung auf dem Flachufer konnte jedoch nicht erreicht werden. Entweder wurde das Holz schon vorher an den Hindernissen zurückgehalten oder es wurde über die Kurvenaussenseite hinaus transportiert. Eine Ableitung des Holzes ist nur möglich, wenn sich eine ausgeprägte Strömung ausbilden kann. Dies bedingt eine Abflusskonzentration und verhindert durch die zu hohen Abflusstiefen eine Ablagerung des Schwemmholzes auf dem Flachufer. Die Lenkung des Holzes ist also möglich, die Ablagerung aber nicht.

### 9.5.3 Fazit

Wenn die Platzverhältnisse keinen vollständigen Holzurückhalt zulassen, kann mit geeigneten Mitteln ein selektiver Holzurückhalt angestrebt werden. Das Beispiel Riemensaldnerbach zeigt auf, dass es bei engen Verhältnissen möglich ist, die sperrigen und gefährlichen Wurzelstöcke zurückzuhalten und gleichzeitig die Durchgängigkeit für Stammholz und Geschiebe weitgehend zu gewährleisten.

Dazu wird der hinsichtlich Verklausung kritische Querschnitt flussaufwärts verlegt. Der kritische Querschnitt wird durch horizontale Stahlträger gebildet, die vom Ufer her in den Abflussquerschnitt hineinragen und bis etwa in die Mitte des Gerinnes reichen.

Die unverlegte Struktur behindert den Abfluss und den Geschiebetransport nicht und erweist sich als relativ durchgängig für Stammholz.

Wichtig bei der Erstellung solcher Wurzelstockfänge sind ein massiver Uferschutz (auch der gegenüber liegenden Ufer) und eine tiefe Fundierung der Elemente.

In breiten Gerinnen stellen verteilte Hindernisse eine gute Möglichkeit zur Reduktion des Holzaufkommens dar. Ein vollständiger Holzurückhalt ist mit dieser Methode jedoch nicht möglich. Diese Massnahme könnte beispielsweise angewendet werden, wenn ein vollständiger Holzurückhalt nicht nötig ist oder wenn weiter unterhalb noch weitere Massnahmen zum Holzurückhalt bestehen.

Um eine optimale Anströmung zu gewährleisten, sollte das unterhalb liegende Hindernis ausserhalb des Strömungsschattens des flussaufwärts platzierten Hindernisses liegen. Der Holzurückhalt kann erhöht werden, wenn die Hindernisse nah am Ufer angeordnet werden. Das Hindernis wird dadurch effektiv breiter, da das Ufer zum Holzurückhalt mit beiträgt.

Eine gezielte Lenkung des Holzes mit Hilfe von verteilten Hindernissen ist möglich, eine gezielte Ablagerung jedoch nicht.



Der Schwemmholtzrückhalt mit verteilten Hindernissen beeinflusst auch den Geschiebehaushalt. Geschiebeablagerungen werden durch die Holzablagerungen an den Hindernissen begünstigt.

## 10 Beispiele

### 10.1 Holzurückhaltereehen Gdrbe

#### 10.1.1 Problemstellung

Ein Hochwasser im Jahr 1990 richtete im Gdrbetal grosse Schaden an, unter anderem durch Verklausungen an Brucken. Darauf hin wurde beschlossen, den als „Ausschutte“ bezeichneten Geschiebesammler bei Wattenwil neu zu gestalten und in Zukunft neben dem Geschiebe auch das von der Gdrbe mitgefdrhrte Schwemmholt zururckzuhalten. Ziel ist es, Wurzelstoeke und Stammholt mgglichst vollstndig, AeSte und Geschwemmsel mgglichst weitgehend zururckzuhalten.

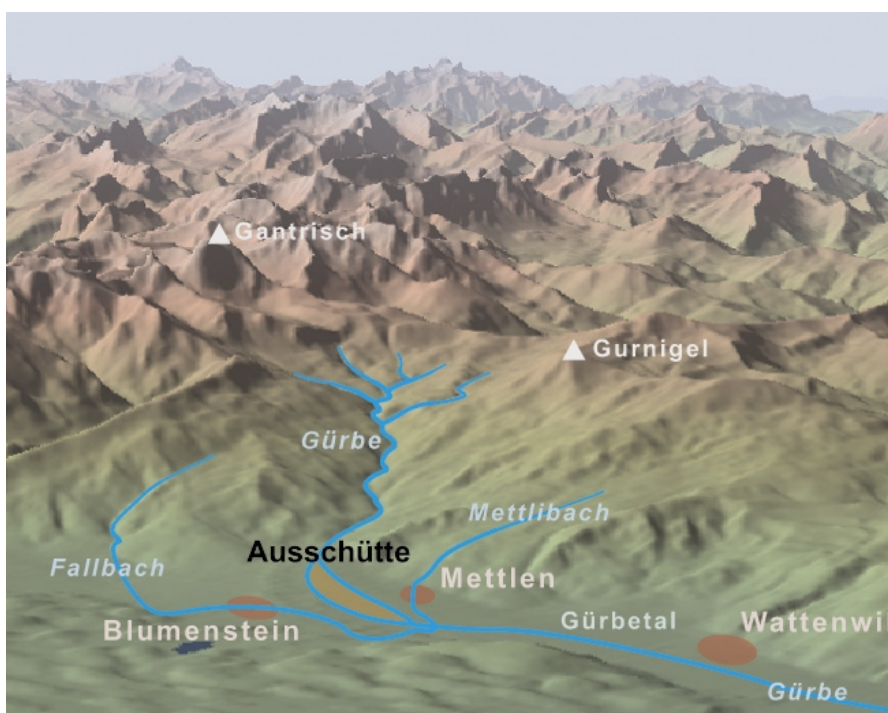


Abb. 73: Ueberblick uiber das Einzugsgebiet der Gdrbe (Quelle: Atlas der Schweiz)

Der projektierte Holzururckhaltereehen befindet sich am unteren Ende einer aufgeweiteten Strecke des maechtigen Schwemmkegels, den die Gdrbe beim Austritt in das Gdrbetal geschuttet hat. Die innerhalb der Ausschutte vorhandene Hoehe ist aus zwei Gruenden stark limitiert. Einerseits duerfen die Daemue aus Gruenden des Landschaftsschutzes nicht erhoeht werden und andererseits sind der Abtiefung der Gdrbesohle infolge der Beeintraehtigung der Grundwasserverhaeltnisse enge Grenzen gesetzt.

### 10.1.2 Kenndaten

Für die Modellversuche wurde von folgenden Belastungen ausgegangen:

	Abflussspitze [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Geschiebezufuhr [t]	Holzzufuhr [ $\text{fm}^3$ ]
Bemessungsereignis	95	56'200	2'000
Überlastfall	160	82'000	3'000

Tab. 7: Belastungsannahmen für die Modellversuche an der Gürbe

- Massgebender Korndurchmesser  $d_m = 5.6 \text{ cm}$
- Charakteristischer Korndurchmesser  $d_{90} = 11.4 \text{ cm}$
- Breite der Aufweitung  $B \approx 60 \text{ m}$
- Mittleres Gefälle in der Aufweitung  $J \approx 2.5 \%$

### 10.1.3 Lösung und Besonderheiten

Ein gekrümmter Holzrückhalterechen am Ende der Aufweitung hält das Holz zurück. Der Rechen wird sehr schnell verlegt, wodurch ein rascher Aufstau des Wassers vor dem Rechen resultiert. Ein seitlicher Notüberlauf verhindert, dass die Dämme überströmt werden. Damit über den Notüberlauf kein Holz ausgetragen wird, ist vor dem Notüberlauf eine Tauchwand angeordnet, die das aufschwimmende Holz zurückhält (siehe Abb. 74).

Der Rechen (siehe Abb. 76) ist nach oberstrom leicht gekrümmt. Er besteht aus 25 senkrecht angeordneten Rechenstäben, die als ausbetonierte Stahlrohre ausgeführt wurden. Die Rechenstäbe sind 3.75 m bis 4.25 m hoch und haben einen Durchmesser von 40.6 cm. Der lichte Stababstand beträgt 1.0 m.

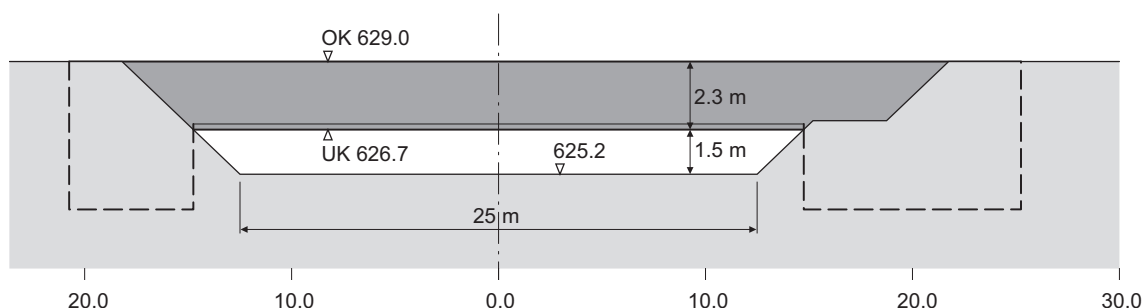
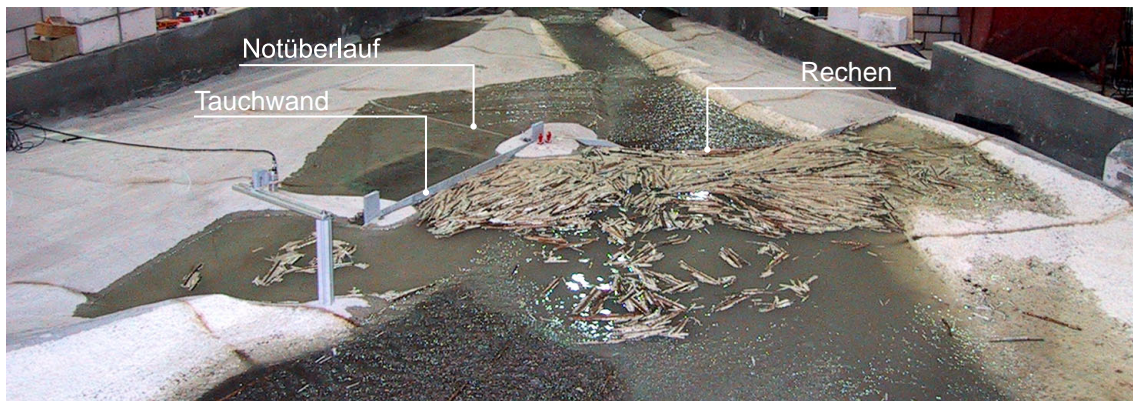


Abb. 74: Ansicht der Tauchwand mit erforderlichen Abmessungen

Die Versuche zeigten, dass beim Bemessungsereignis 99 % des Holzes zurückgehalten werden kann, beim Überlastfall sind es 96 %. Falls am Rechen Holz zurückgehalten wird, wird die Geschiebeführung unterbrochen. Das Geschiebe lagert sich nahezu voll-

ständig in der Ausschütte ab. Bei Hochwasserereignissen ohne Holzanfall ist die Geschiebedurchgängigkeit weiterhin gegeben.



*Abb. 75: Kombierter Holz- und Geschieberückhalt mit Rechen und Tauchwand an der Gürbe bei Wattenwil (oben: Modell, unten: Realisiertes Projekt)*

#### 10.1.4 Ausführung

Das in Modellversuchen getestete Konzept mit Rechen, Notüberlauf und Tauchwand wurde im Jahr 2003 realisiert. Die Bauherrschaft lag beim Wasserbauverband Obere Gürbe, die Kosten für den Bau des Rechens mit Notüberlauf und Tauchwand betrugen sFr. 725'000.



*Abb. 76: Holzrückhalterechen an der Gürbe (Blick gegen Fliessrichtung)*



## 10.2 Edisriederbach

### 10.2.1 Problemstellung

Das Hochwasser vom August 1997 in Sachseln (Kanton Obwalden) richtete im Dorf und im angrenzenden Umland grosse Schäden an. Der Geschiebesammler Edisriederbach wurde während dieses Ereignisses weitgehend oder vollständig mit Geschiebe gefüllt – das anfallende Schwemmholz wurde aber praktisch ohne Rückhalt über die Abschlussperren weiter flussabwärts verfrachtet.

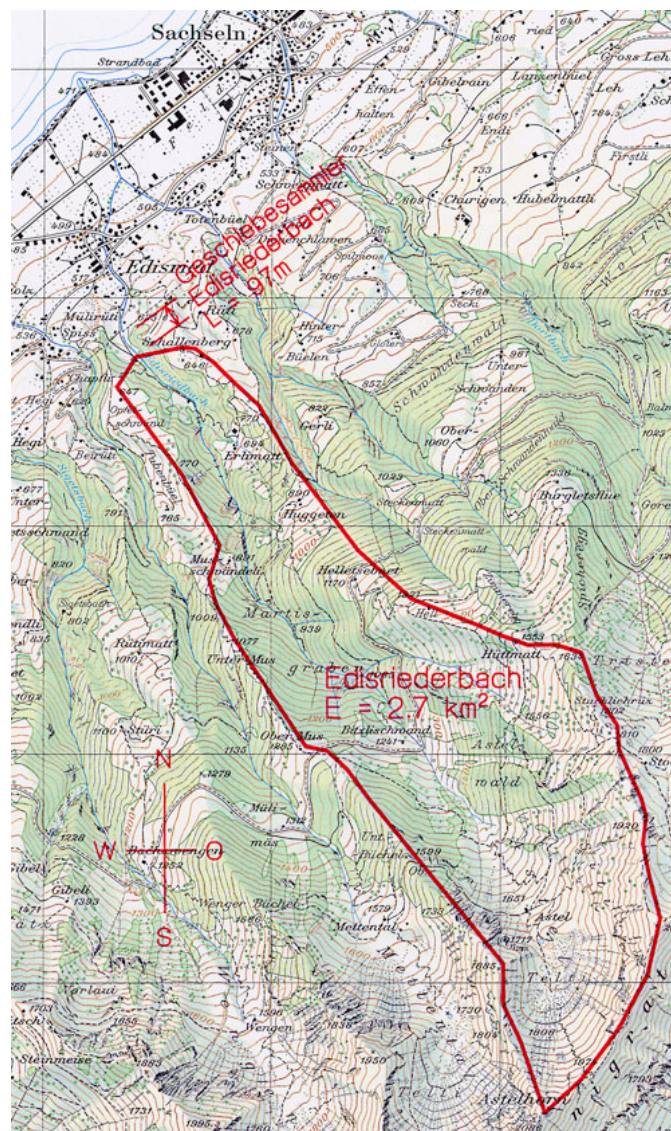


Abb. 77: Einzugsgebiet des Edisriederbaches (Kanton Obwalden und Gemeinde Sachseln, 2000) © 2001 Bundesamt für Landestopographie (DV1366.2)

Die Erkenntnisse aus dem Hochwasserereignis zeigen, dass die Hochwassersicherheit für den Dorfteil Edisried nicht gewährleistet ist. Von zentraler Bedeutung bei der gesamtheitlichen Sanierung ist dabei der sichere Holz- und Geschieberückhalt.

### 10.2.2 Kenndaten

Das Einzugsgebiet des Edisriederbaches beträgt bis zum Geschiebesammler  $2.7 \text{ km}^2$  (siehe Abb. 77). 44% des Einzugsgebietes ist bewaldet. Das Bemessungshochwasser wird mit  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  angegeben. Das Extremhochwasser liegt bei  $45 \text{ m}^3/\text{s}$ . Insgesamt sollen beim Bemessungsereignis bis zu  $35'000 \text{ m}^3$  Geschiebe und  $1'000 \text{ m}^3$  Schwemmholtz (Lockervolumen) zurückgehalten werden.

### 10.2.3 Projekt

Die VAW führte im Auftrag der Wuhrgenossenschaft Edisrieder- und Ewilerbäche Modellversuche durch (vgl. auch Abschnitt 9.1.2.2), um die optimale Lösung für einen Holzurückhalt im Geschiebesammler zu finden (*Bezzola, 2001 und VAW, 1999b*).

Der projektierte Holzurückhalterechen ist oberwasserseitig zur bestehenden Abschlussmauer des Geschiebesammlers platziert (siehe Abb. 78).



*Abb. 78: Holzurückhalterechen an der Abschlussmauer des Geschiebesammlers am Edisriederbach*

Er setzt sich aus 24 Stahlböcken und 11 Vertikalstäben zusammen, welche eine Gerade mit minimalem Abstand von 4 m zur Abschlussmauer bilden. Der gegenseitige Abstand der Stahlelemente beträgt 2 m. Die Stahlblöcke sind  $\lambda$ -förmig ausgebildet, wie auch Abb. 79 zeigt. Sie sind gelenkig auf den Stahlbeton-Fundamenten aufgeschraubt. Die stehenden Rechenstäbe (Biegestäbe) weisen eine Neigung von ca.  $60^\circ$  auf und sind gegenseitig mit Querstäben verbunden.



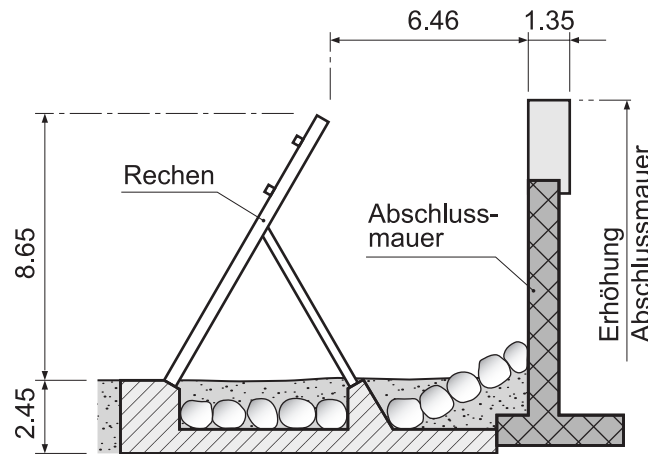


Abb. 79: Schnitt durch den Randbereich des Holzrückhalterechens (Kanton Obwalden und Gemeinde Sachseln, 2000); Angaben in [m]

Ausserdem wurde die Abschlussmauer des Geschiebesammlers erhöht, um das nötige Rückhaltevolumen im Sammler bereitstellen zu können.

#### 10.2.4 Ausführung

Die Arbeiten zum Ausbau des Geschiebesammlers und zum Bau des Holzrechens wurden im Jahre 2003 beendet. Die Bauherrschaft lag bei der Wuhrgenossenschaft Edisrieder- und Ewilerbäche. Die Kosten für die Umbauarbeiten betrugen Fr. 2'125'000.



Abb. 80: Holzrückhaltereichen im Geschiebesammler am Edisriederbach



## 10.3 Enziwigger

### 10.3.1 Einleitung



Im Bereich der Stadt Willisau (Kanton Luzern) ist die Gerinnekapazität der Enziwigger bei Hochwasser oftmals zu gering. Ein geplanter Entlastungsstollen soll die Situation verbessern. Jedoch könnte am Einlauf des Stollens und im Stollen selbst sperriges Holz zu Problemen führen. Weniger sperrige Stücke könnten dem Entlastungskanal praktisch ungehindert passieren, könnten aber flussabwärts eine Gefahr darstellen.

Daher ist geplant, das von der Enziwigger bei Hochwasser mitgeführte Schwemmholtz vor dem Stolleneinlauf zurückzuhalten.

### 10.3.2 Kenndaten

Die Enziwigger entspringt im Napfgebiet und umfasst mit allen Zuflüssen bis zum betrachteten Abschnitt ein Einzugsgebiet von  $29.2 \text{ km}^2$ , welches zu etwa 40 % bewaldet ist. Das Bemessungshochwasser, das im Mittel alle 100 Jahre auftritt, beträgt  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . Für den Überlastfall wird ein Spitzenabfluss von  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  zugrunde gelegt.

Abb. 81: Übersicht - Einzugsgebiet der Enziwigger bis zum Abschnitt „Hirseren“  
© 2001 Bundesamt für Landestopographie (DV1366.2)

### 10.3.3 Projekt

Ein Vorprojekt sah ein Rückhaltesystem mit zwei Schwemmholtznetzen zwischen dem Wasserfall Hirseren und der Brücke Hirserenstrasse vor. Modellversuche an der VAW haben ergeben, dass eine Anlage mit zwei Schwemmholtznetzen in diesem Bereich problematisch ist (VAW, 2003).

Daher wurde ein neuer Standort für den Holzrückhalt gesucht (siehe Abb. 82) und ein Projekt ausgearbeitet.



*Abb. 82: Enziwigger – Standort des geplanten Rechens (Blick gegen Fliessrichtung)  
(Quelle: PlanQuadrat AG)*

Oberhalb des Gebietes Hirseren soll die Enziwigger auf einer Länge von ca. 150 m nach Norden aufgeweitet werden. Das Längsgefälle im Bereich der Aufweitung beträgt etwa 1.2 %. Die maximale Sohlenbreite im Bereich der Aufweitung beträgt 26 m (siehe Abb. 83).

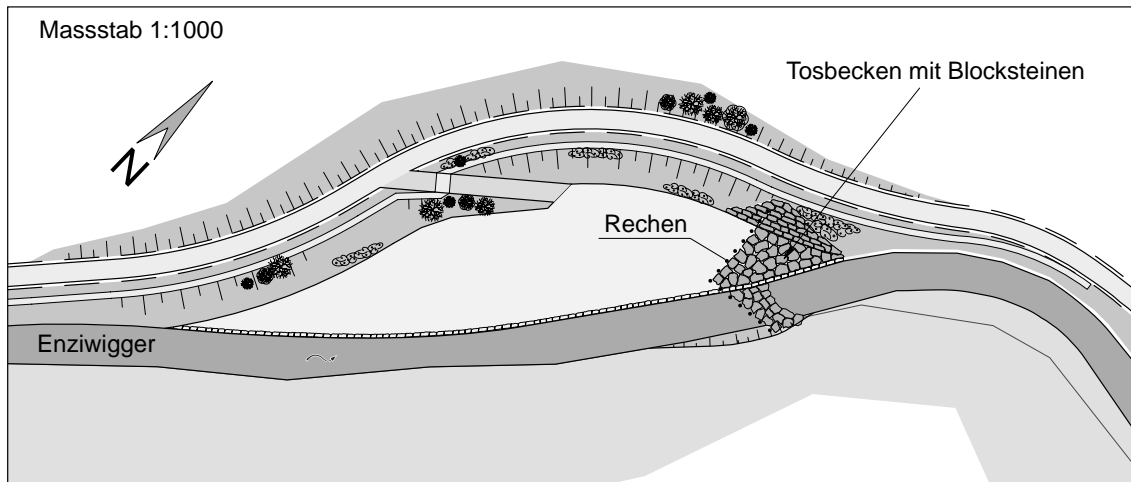


Abb. 83: Situation der geplanten Aufweitung mit V-Rechen an der Enziwigger  
(nach: PlanQuadrat AG, 2005)

Ein V-Rechen soll von der Enziwigger mitgeführtes Schwemmholtz zurückhalten. Er wurde mit der Öffnung nach unten geplant, damit das durch den Rechen austretende Wasser in die Gerinnemitte gelenkt und ein Angriff der Böschung verhindert wird. Die abgewinkelte Breite des Rechens beträgt 28 m. Die ausbetonierten Stahlrohre haben einen Durchmesser von 70 cm. Der Abstand zwischen den Rechenstäben beträgt 2 m. Die Rechenstäbe sind maximal 2 m hoch. An der rechten Seite sind vier Rechenstäbe 30 cm tiefer als die anderen, um ein kontrolliertes Abfließen des Wassers im Hochwasserfall zu gewährleisten.

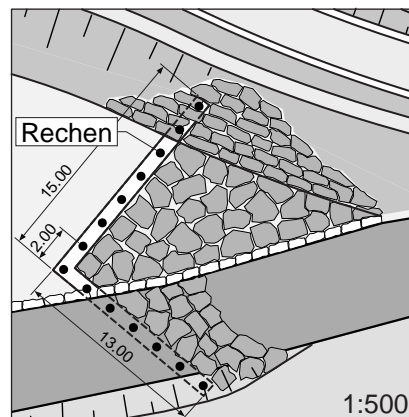


Abb. 84: Übersichts- und Detailplan Rechen  
(nach: PlanQuadrat AG, 2005)

Es ist geplant, das Projekt im Winter 2005/06 zu realisieren. Die Kosten werden auf sFr. 545'000 geschätzt. Als Bauherr tritt die Stadt Luzern auf.



## 10.4 Chämptnerbach

### 10.4.1 Problemstellung

Im Sommer 1977 und 1984 gingen im Zürcher Oberland heftige Regenfälle nieder und führten im Chämptnerbach zu Hochwasser. Während beider Ereignisse führte der Bach beträchtliche Geschiebe- und Schwemmholz mengen mit sich. Dies führte bei beiden Ereignissen zu Verklausungen an einer Brücke und grossflächigen Überschwemmungen (*Hochstrasser, 1997*).

Der Chämptnerbach fliesst in Hochlage auf seinem eigenen Schuttkegel. Das bedeutet, dass talwärts ausfliessendes Wasser nicht mehr in das Gerinne zurückfliessen und in Wetzikon zu grossen Überschwemmungen führen kann.

### 10.4.2 Kenndaten

Der Chämptnerbach entwässert beim V-Rechen eine Fläche von  $11.25 \text{ km}^2$ . Die Hochwassermenge, die im Mittel alle 50 bis 100 Jahre einmal auftreten kann, erreicht eine Grösse von  $47 \text{ m}^3/\text{s}$ . Das mittlere Gefälle im ca. 10 m breiten Geschiebesammler beträgt ca. 1.6 %.

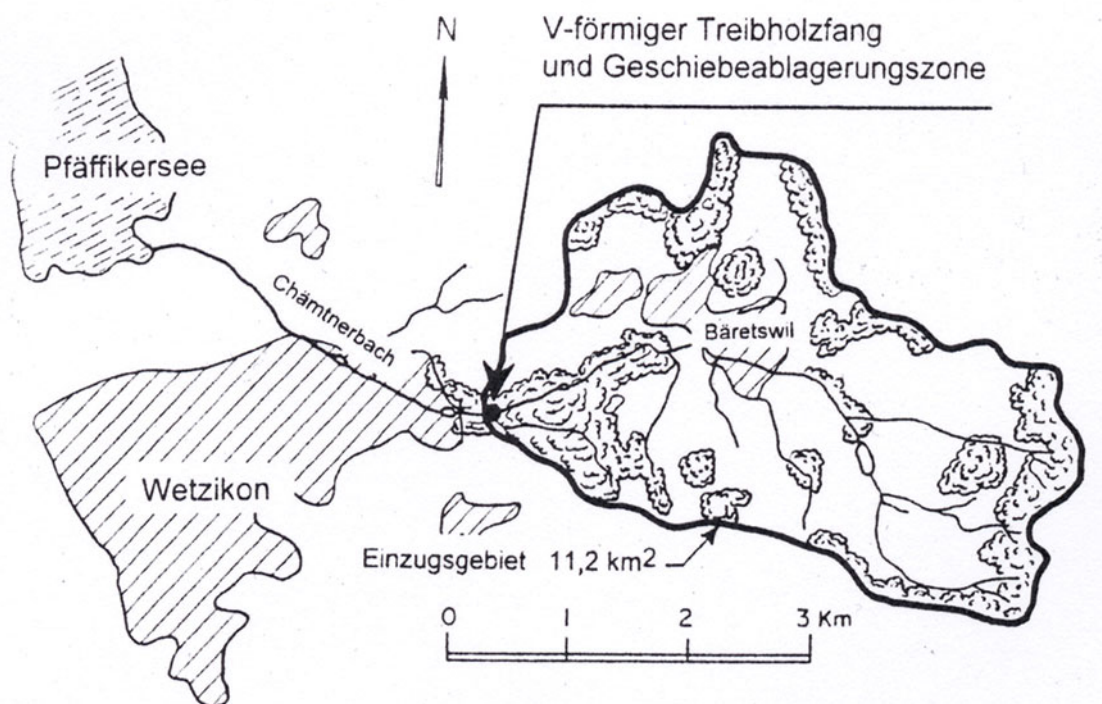


Abb. 85: Chämptnerbach mit Einzugsgebiet; Standort des V-Rechens und der Geschiebeablagerungszone (*Hochstrasser, 1997*)

### 10.4.3 Projekt

Das realisierte Hochwasserschutzkonzept für die Gemeinde Wetzikon sieht oberhalb des Siedlungsgebietes eine Geschiebeablagerungszone mit einem V-förmigen Schwemmholzrechen vor (siehe Abb. 86).

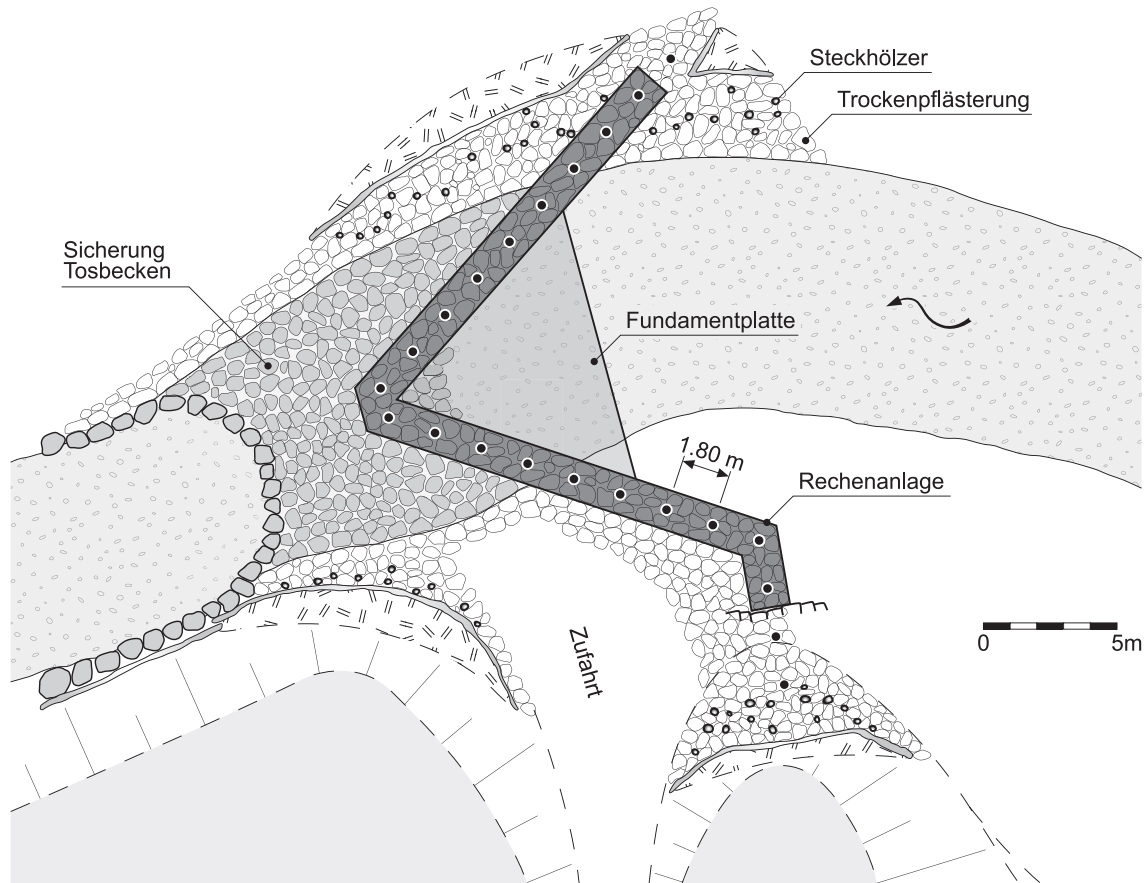


Abb. 86: Situation der Geschiebeablagerungszone mit V-Rechen  
(nach: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich)

In der Geschiebeablagerungszone können ca.  $800 \text{ m}^3$  Material abgelagert werden. Dieses Volumen wird im Regelfall genügen, dass nur einmal pro Jahr Geschiebe entnommen werden muss.

Der Rechen besteht aus Stahlrohren mit einem Durchmesser von rund 36 cm. Diese sind mit Beton gefüllt und haben einen Achsabstand von 1.80 m. Die Wandstärke der Stahlrohre beträgt 16 mm. Sie sind in Bohrlöcher versetzt, die bis in den Molassefels reichen. Knapp unterhalb des Terrains sind die Rohre in einer Betonplatte bzw. einem Betonriegel gehalten. Zum Schutz vor Abrasion durch Geschiebe sind die Rohre im untersten Bereich durch ein Schutzrohr umgeben, welches im Bedarfsfall einfach ersetzt werden kann. Einen Querschnitt durch einen Rechenstab zeigt Abb. 87.

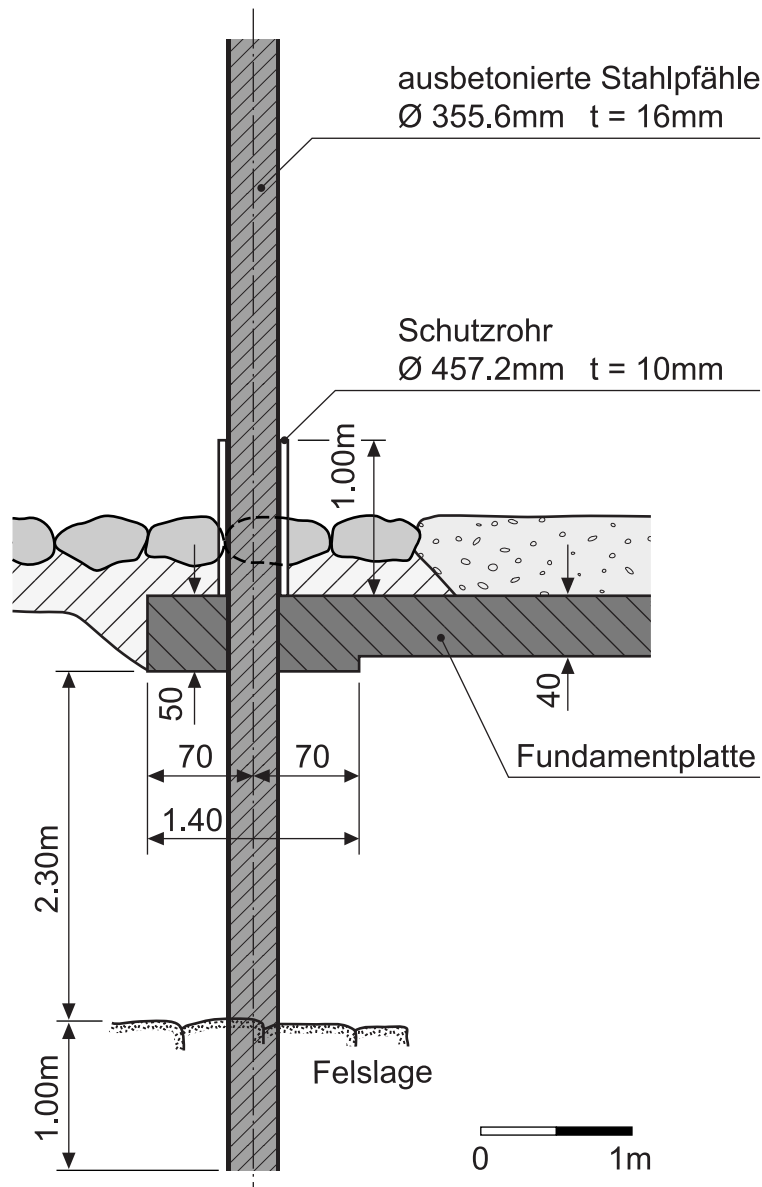


Abb. 87: Rechenstab - mit Beton gefülltes Stahlrohr  
 (nach: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich)

#### 10.4.4 Ausführung

Der Geschiebeablagerungszone mit dem V-förmigen Schwemmholzrechen (siehe Abb. 88) ist in der Zeit von September 1996 bis März 1997 realisiert worden. Die Bauherrschaft lag beim Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich. Die Kosten für die Massnahme betrugen 300'000 sFr.





*Abb. 88: V-förmiger Schwemmholzrechen am Chämptnerbach (Blick in Fliessrichtung)*

Beim Hochwasser im Mai 1999 wurde der V-Rechen einer ersten Belastungsprobe unterzogen (siehe auch Abb. 89). Das anfallende Holz konnte vom Rechen zurückgehalten werden. Das Geschiebe konnte sich in der Geschiebeablagerungszone ablagern. Somit konnte die Überschwemmung in der Gemeinde Wetzikon wirkungsvoll verhindert werden.



*Abb. 89: Belastungsprobe für den V-Rechen beim Hochwasser vom 13. Mai 1999  
(Quelle: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich)*

## 10.5 Heitibach

### 10.5.1 Problemstellung

Im Zuge der Realisierung der Neuen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) muss die Bachsohle des Heitibaches (Kanton Bern) angehoben werden, damit er über den neu erstellten Tunnel geführt werden kann. Um Verklausungen an Brücken zu vermeiden, soll ein Holzrückhalterechen am Abschluss des Geschiebesammlers gebaut werden.

### 10.5.2 Kenndaten

Am Standort des Geschiebesammlers entwässern der Gunggbach und der Heitibach eine Fläche von 7.3 km<sup>2</sup>. Das Gefälle im Bereich des Sammlers beträgt 5 %. Der Geschiebesammler ist 35 m lang und durchschnittlich 20 m breit. Die Ausbauwassermenge beträgt 45 m<sup>3</sup>/s.

### 10.5.3 Projekt

Der Geschiebesammler befindet sich beim Zusammenfluss des Heitibaches und des Gunggbaches oberhalb von Frutigen (siehe Abb. 90).

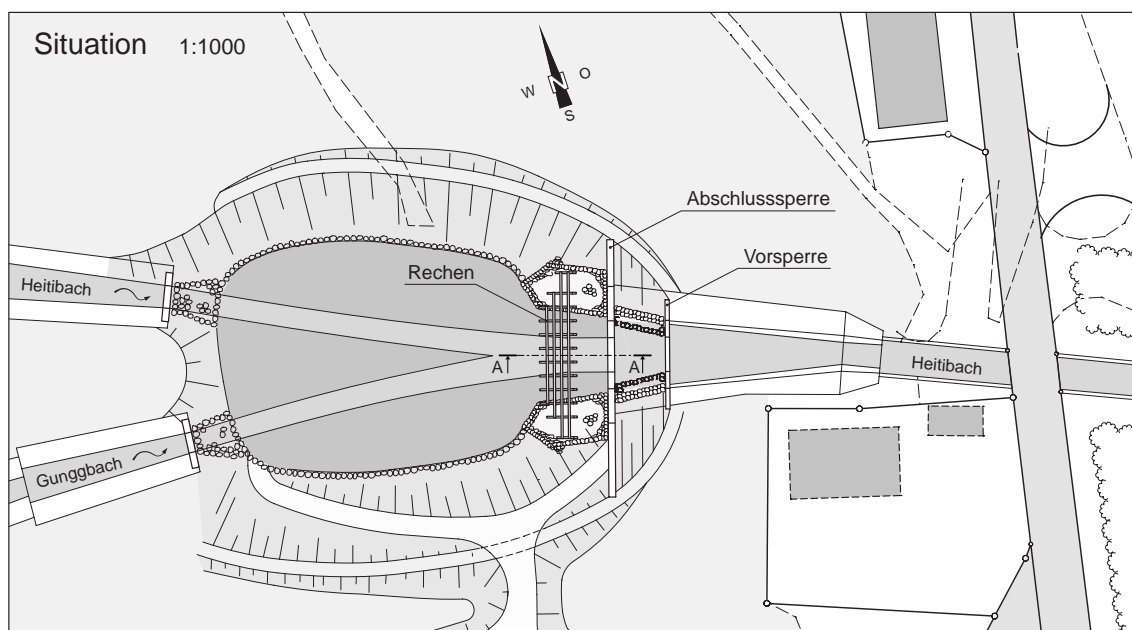


Abb. 90: Situation Geschiebesammler Heitibach (nach Kissling + Zbinden AG)

Die Abschlussperre des Sammlers ist mit Schlitzen ausgebildet, damit bei kleinen Abflüssen Wasser und Geschiebe ungehindert passieren können. Zusätzlich ist der Abschlussperre ein Holzrechen vorgelagert (vgl. Abb. 91). Dieser ist ähnlich konzipiert wie der Holzrückhalterechen am Edisriederbach (vgl. Abschnitt 10.2.3). Die stehenden Rechenstäbe (Biegestäbe) weisen eine Neigung von ca. 60° auf und sind gegenseitig

mit Querstäben verbunden. Der gegenseitige Abstand der Rechenstäbe beträgt 2 m. Der Rechen ist 7.20 m hoch.

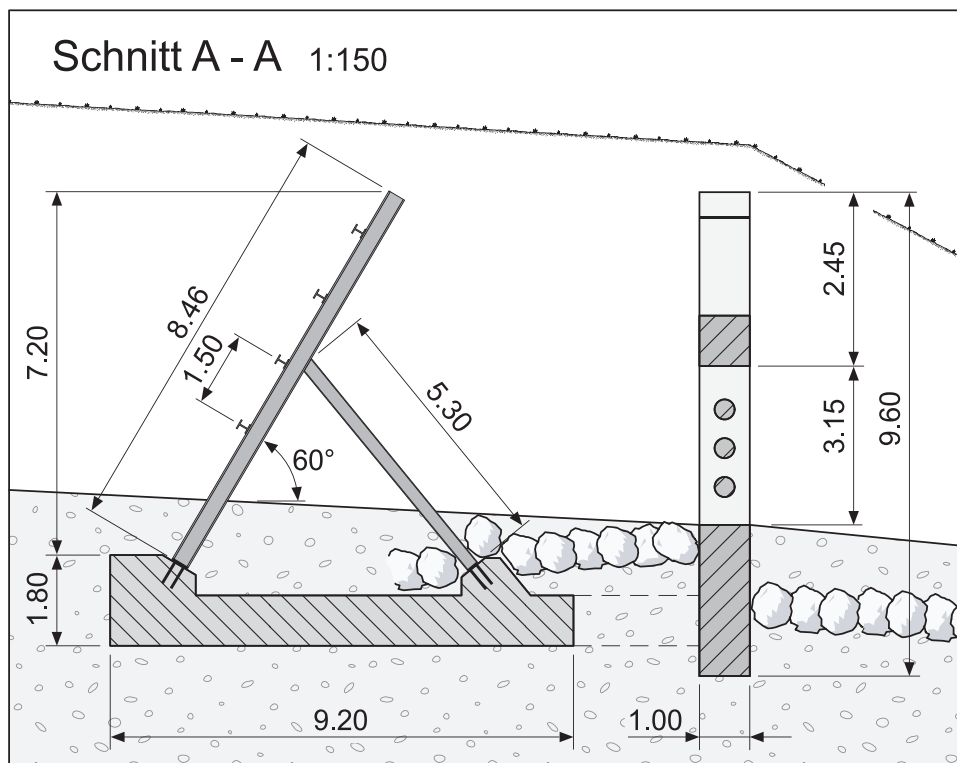


Abb. 91: Geschiebesammler Heitibach – Längsschnitt durch Holzrückhaltereichen und Abschlussmauer (nach: Kissling + Zbinden AG)

#### 10.5.4 Ausführung

Der Rechen am Heitibach wurde im Winter 2002/2003 realisiert. Die Bauherrschaft lag bei der BLS Alptransit AG. Die Kosten für das Projekt beliefen sich auf ca. 860'000 sFr (Ausbau Geschiebesammler und Rechen).





*Abb. 92: der Abschlusssperre vorgelagerter Holrzückhalterechen am Heitibach  
(Quelle: Kissling + Zbinden AG)*



*Abb. 93: Hochwasserereignis vom Juni 2004  
(Quelle: Kissling + Zbinden AG)*



Am 2. Juni 2004 wurde der neu erbaute Sammler und der Holzrückhalterechen einer ersten Belastungsprobe ausgesetzt. Der Rechen konnte das Schwemmholz auffangen, so dass weiter flussabwärts keine Probleme entstanden (siehe Abb. 93). Insgesamt wurden ca. 450 m<sup>3</sup> Schwemmholz (lose) zurückgehalten.

Wie Abb. 94 zeigt, wurde der Schlitz der Abschlussperre während des Hochwasserereignisses vollständig durch Geschiebe und Holz verlegt, so dass der Abfluss zum grössten Teil über die Abflusssektion der Sperre stattfand.



*Abb. 94: Abschlussperre des Geschiebesammlers Heitibach beim Hochwasserereignis vom Juni 2004  
(Quelle: Kissling + Zbinden AG)*





## 11 Zusammenfassung und Ausblick

Probleme bei Hochwasserereignissen entstehen oftmals nicht nur durch die grossen Abfluss- und Geschiebemengen, sondern auch durch mitgeführtes Schwemmholz. Dies hat auch das Hochwasser im August 2005 wieder eindrücklich gezeigt. Das Schwemmholz kann Verklausungen von Brücken und Durchlässen verursachen. Dadurch besteht die Gefahr, dass die betroffenen Fliessgewässer aus ihrem Bett ausbrechen und durch Überschwemmungen und Übersarungen grosse Schäden anrichten. Ein weiteres Gefährdungsszenario stellen Schwallwellen infolge des Bruchs von Verklausungen dar. Durch den Anprall von Schwemmholz an Brücken und ufernahen Gebäuden können ebenfalls Schäden hervorgerufen werden.

Nach den jüngsten Hochwasserereignissen, beispielsweise dem Unwetter von 1997 in Sachseln, wird die Schwemmholzproblematik nicht nur mehr als „Anhängsel“ des Geschiebetransports und des Geschieberückhalts behandelt. Die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich hat verschiedene Fallstudien zum Thema Schwemmholz bearbeitet, die zusammen mit Diplomarbeiten und ergänzenden Versuchen im vorliegenden Bericht zusammengefasst werden.

**Der Schwerpunkt des Berichtes liegt bei den Massnahmen zur schadlosen Weiterleitung und zum Rückhalt des Schwemmholzes in Wildbächen und steilen Gerinnen.**

In der Schweiz wird folgende **Klassifikation des Schwemmholzes** vorgenommen:

- Totholz
- Grünholz und
- Industrieholz.

Für die **Abschätzung der Schwemmholzmenge und des Schwemmholzpotentials** werden in der Literatur verschiedene Formeln angegeben. Diese können jedoch nur als Richtwerte angesehen werden, für eingehende Untersuchungen wird eine detaillierte Untersuchung der relevanten Flussabschnitte empfohlen.

Der **Transport** des Schwemmholzes findet zum grössten Teil während oder kurz nach der Hochwasserspitze statt. Grosse Holzmengen in kurzer Zeit sind bei schnell ansteigenden Hochwasserganglinien zu erwarten. Während des Transportes findet laufend eine **Zerkleinerung** des Schwemmholzes statt. Wie schnell diese stattfindet, hängt massgeblich vom Gefälle, Rauheit und Linienführung des Gewässers, Art und Qualität des Holzes und der Transportstrecke ab.

Die **Bestandteile** des Schwemmhholzes können Wurzelstöcke, ganze Stämme, Äste, Zweige und feine Bestandteile (Laub, Nadeln) und Wirtschaftsholz (Bretter, Pfähle) sein.

Die **Ablagerung** des Schwemmhholzes kann mit oder ohne Verklausung erfolgen. **Verklausungen** bilden sich hauptsächlich an engen Querschnitten, wie Schluchtstrecken, Felsvorsprüngen oder an Brücken und Durchlässen. Die Gefahr einer Verklausung ist im Bereich der Spitze eines Hochwassers sowie zu Beginn dessen Abklingens am grössten.

Die **Verklausungswahrscheinlichkeit** ist primär von den massgebenden Abmessungen des Holzes und des Querschnittes unter der Brücke abhängig. Um Verklausungen zu vermeiden, dürfen die zu erwartenden Holzstücke höchstens halb so lang sein wie die Gerinnebreite und die lichte Höhe unter der Brücke muss mindestens das 1.7fache der massgebenden Abmessung der zu erwartenden Wurzelstöcke betragen.

Bei den **Massnahmen zur Bekämpfung der Schwemmhholzgefahr** lassen sich aktive und passive Massnahmen unterscheiden, wobei den präventiven Massnahmen, wie dem sachgerechten Gewässerunterhalt, der Schutzwaldpflege und den raumplanerischen Massnahmen Vorrang einzuräumen ist. Im vorliegenden Bericht wird auf die passiven Massnahmen nicht eingegangen. Die Unterhaltsmassnahmen werden nur kurz erwähnt. Der Schwerpunkt dieses Berichts liegt bei den baulichen Massnahmen.

## SCHADLOSES WEITERLEITEN DES SCHWEMMHOLZES

Eine grundlegende Massnahme zur Verringerung der Verklausungsgefahr ist, günstige Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass das antransportierte Schwemmhholz schadlos weitergeleitet wird.

**Temporär** kann der Einsatz eines mobilen Baggers im Hochwasserfall helfen, um entweder eine Verklausung zu lösen oder Holz aus dem Gerinne zu nehmen.

**Permanente** bauliche Massnahmen stellen Brückenverschalungen, bewegliche Brücken oder die Längsausrichtung des Schwemmhholzes an einer Engstelle dar.

Verklausungen an Brücken werden begünstigt, wenn die Untersicht der Brücke nicht glatt ausgebildet ist, wie beispielsweise bei Fachwerkbrücken. Mit einer geschlossenen **Verschalung** könnte ein Verkeilen von Schwemmhholz zwischen Brücke und Flusssohle, und damit eine Verklausung, verhindert werden. Voraussetzung dafür ist aber, dass die Flusssohle unter der Brücke nicht befestigt ist und sich ein Kolk ausbilden kann.

Eine weitere Möglichkeit zur schadlosen Weiterleitung des Schwemmhholzes ist die gezielte Vergrösserung des Durchflussprofils im Hochwasserfall. Beispiele hierfür

sind **Hub- und Klappbrücken**, die auch schon im Hochwasserfall erfolgreich getestet wurden.

An Engstellen, beispielsweise Stolleneinläufen, können so genannte **Gleichrichter** verhindern, dass einzelne Holzstücke an einer Stelle hängen bleiben und sich verkeilen. Der Gleichrichter bewirkt, dass quer schwimmende Hölzer mit einem Ende am Pfeiler aufschlagen und sich durch die Strömung automatisch in Längsrichtung ausrichten.

## RÜCKHALT DES SCHWEMMHOLZES

Der Rückhalt des Schwemmholzes kann entweder direkt im Gerinne oder in einem speziell dafür vorgesehenen Rückhalteraum (Geschiebesammler, Ablagerungsplatz) erfolgen.

### Rechenkonstruktionen

Für den **Holzrückhalt im Gerinne** sind Rückhaltebauwerke geeignet, die eine grosse Austrittslinie des Wassers aufweisen und somit den Aufstau des Wassers begrenzen. Von geraden Rechen ist aus diesem Grund abzuraten, empfohlen werden gekrümmte Rechen oder V-Rechen. V-Rechen sind für den Schwemmholzrückhalt in Gewässern mit einem Sohlgefälle  $< 5 \%$  geeignet.

Der Stababstand eines Holzrückhalterechens ist nur am Anfang des Ereignisses von Bedeutung und ergibt sich oft aus statischen Überlegungen. Für die Bemessung eines Grobrechens kann als Richtwert davon ausgegangen werden, dass bei einem lichten Stababstand  $s$  Holz mit einer Länge  $L$

$$L \geq 1.5 s \quad [10]$$

wirkungsvoll zurückgehalten wird. Wenn der Rechen mit den ersten Hölzern verlegt ist, spielt die Grösse des Stababstandes keine Rolle mehr, da ein Passieren einzelner Hölzer praktisch nicht mehr möglich ist.

Die Säulenhöhe eines Rechens ergibt sich aus der Berechnung des höchstmöglichen Aufstaus beim Bemessungsabfluss. *Knauss (1995)* gibt eine Methode zur Berechnung des Aufstaus in Abhängigkeit vom spezifischen Abfluss  $q$  und der Zusammensetzung des Schwemmholzes (Feinanteil) an. Er definiert einen Aufstaufaktor

$$\alpha = \frac{h_2 - h_1}{v_l^2 / 2g} \quad [11]$$

Für konservative Betrachtungen wird eine Berechnung mit einem Aufstaufaktor von  $\alpha = 2.5$  empfohlen.

Bei **Rechen am Abschluss eines Geschiebesammlers** sollten im unteren Bereich grobmaschig ausgebildet werden, um einen möglichst ungehinderten Durchgang klei-

nerer Ereignisse zu gewährleisten. Im oberen Bereich ist eine engmaschige Ausbildung anzustreben, um bei grösseren Ereignissen eine Abdrift von Holz zu verhindern.

Der Rechen sollten das gesamte Abschlussbauwerk abschliessen, um im Überlastfall eine kontrollierte Abgabe von Wasser, Geschiebe und Holz in das Unterwasser zu gewährleisten. Ein schmaler Rechen hingegen wird bei vollständiger Füllung des Sammlers seitlich umflossen und Wasser, Geschiebe und Holz werden unkontrolliert über die Sperrenflügel entlastet.

Bei grosszügigen Platzverhältnissen in einem Geschiebesammler ist eine räumliche Trennung von Holz und Geschiebe möglich. Dazu kommt es, wenn der Rechen mit Holz dicht verlegt wird und sich durch den Aufstau ein See bildet, der die deltaförmige Ablagerung des Geschiebes am Anfang des Geschiebesammlers fördert.

Für eine konservative Betrachtung muss ein Holzurückhalterechen wie eine Sperre **bemessen** werden, da Wasser-, Erd- und Holzlasten gemeinsam auf den Rechen wirken.

### **Tauchwand**

Ein Holzurückhalt mit einer Tauchwand bietet sich als platz sparende Alternative zu grossflächigen Rechenkonstruktionen in Geschiebesammlern an. Sie wird am Abschlussbauwerk abgestützt und hat den Vorteil, dass sie – im Vergleich zu einem Rechen – nicht wie eine Sperre bemessen werden muss, da die auf die Tauchwand wirkenden Kräfte geringer sind.

Ein Holzurückhalt mit einer Tauchwand erfordert zwingend einen Einstau und bewirkt damit auch eine Geschiebeablagerung.

Bei der konstruktiven Ausbildung der Tauchwand sollte darauf geachtet werden, dass Abweisevorrichtungen vorhanden sind, die verhindern, dass das Holz am Anfang des Hochwasserereignisses unter der Tauchwand hindurch gezogen wird.

Der ungestörte Schwemmholzteppich vor einer Tauchwand ist näherungsweise 2-3mal so dick wie der Stammdurchmesser  $D$ .

### **Schwemmholznetze**

Holzurückhalt mit Schwemmholznetzen bedeutet gleichzeitig auch immer einen nahezu vollständigen Geschieberückhalt. Sobald das Netz mit Holz verlegt ist, kommt es zu einem Rückstau des Wassers und damit auch zur Ablagerung des Geschiebes.

Der Einsatz von Schwemmholznetzen wird nur bis zu einem spezifischen Abfluss von  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  empfohlen. Bei höheren Abflüssen muss mit einem Abtransport des Schwemmholzes über das Netz gerechnet werden. Ausserdem sollte die Fließgeschwindigkeit am oberen Ende des Holzteppichs 0.8 bis 1 m/s nicht überschreiten.

Die Grösse der unteren Öffnung des Schwemmholtznetzes (zwischen Netz und Sohle) bestimmt den Anfangspunkt des Rückhaltvorganges. Je kleiner die Öffnung, desto früher beginnt der Rückhalt von Holz und Geschiebe. Die Öffnung wird während des Hochwasserereignisses in den meisten Fällen verlegt und der Geschiebetransport somit unterbrochen.

Die Maschenweite des Schwemmholtznetzes hat – analog zu den Stababständen bei Holzurückhalterechen – nur am Anfang des Hochwasserereignisses eine Bedeutung. Sobald das Netz mit feinem Schwemmholtz verlegt ist, spielt die Maschenweite für den Schwemmholtzurückhalt keine Rolle mehr.

### **Selektiver Schwemmholtzurückhalt**

Ein selektiver Schwemmholtzurückhalt kann angestrebt werden, wenn für die Einrichtung eines Holzurückhaltebauwerkes zum vollständigen Holzurückhalt nicht genügend Platz vorhanden ist.

Eine Möglichkeit besteht darin, diejenigen Schwemmholtzbestandteile zurückzuhalten, welche tatsächlich die Verklausungen verursachen. An einem Fallbeispiel wird gezeigt, wie die sperrigen und gefährlichen Wurzelstöcke zurückgehalten werden, während die unproblematischen Stämme weitergeleitet werden. Die Grundidee besteht darin, dass der hinsichtlich Verklausung kritische Querschnitt flussaufwärts verlegt wird. Dort werden die Wurzelstöcke mit Hilfe von horizontalen Stahlträgern, die vom Ufer her in den Abflussquerschnitt hineinragen und bis etwa in die Mitte des Gerinnes reichen, zurückgehalten.

Eine andere Möglichkeit des selektiven Schwemmholtzurückhalts besteht darin, die gesamte Holzmenge zu reduzieren. Verteilte Hindernisse können in breiten Gerinnen mit verzweigter Morphologie den natürlichen Holzurückhalt noch erhöhen. Die Hindernisse sollten so angeordnet werden, dass das unterhalb liegende Hindernis ausserhalb des Strömungsschattens des flussaufwärts platzierten Hindernisses liegt. Hindernisse, die nahe am Ufer platziert werden, haben eine erhöhte Rückhaltewirkung.

### **OFFENE FRAGEN UND AUSBLICK**

Der vorliegende Bericht behandelt die Schwemmholtzproblematik in Wildbächen und steilen Gerinnen. Aber auch in weniger steilen und grösseren Flüssen kann Schwemmholtz zu einem Problem werden. Dies hat das Hochwasser im August 2005 eindrücklich gezeigt. Die Probleme traten dort vor allem in den grösseren Flüssen auf, beispielsweise an der Aare in Bern oder an der Reuss bei Perlen.

Grosse Unsicherheiten ergeben sich auch weiterhin beim Abschätzen der Schwemmholtzmenge und der Schwemmholtzzusammensetzung. Für die Auslegung einer Rückhaltmassnahme ist die zu erwartende Schwemmholtzmenge eine wichtige Grösse, kann jedoch nur sehr schwer abgeschätzt werden. Momentan werden an der Eidgenös-

sischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) verschiedene Projekte bearbeitet, die zu diesem offenen Punkt einen wichtigen Beitrag leisten werden.

Weiterhin bedarf das Hochwasser vom August 2005 einer genauen Analyse. An vielen Orten hat das Schwemmholz eine entscheidende Rolle gespielt. In diesem Zusammenhang wird zu klären sein, welche Prozesse zur Mobilisierung der grossen Schwemmholzmenge geführt haben. Ausserdem wird zu analysieren sein, wie das Ereignis genau ablief und welche Prozesse und Mechanismen zu den grossen Schäden geführt haben.

Im vorliegenden Bericht wird auch die Schwemmholzproblematik in Seen nicht behandelt. Dort können sich nach grossen Hochwasserereignissen grosse schwimmende Holzteppiche bilden (siehe Abb. 95), welche zur Freihaltung der Schifffahrt oder zum Schutze der Schilfgürtel und Naturufer beseitigt werden müssen.



*Abb. 95: Mündung der Goldach in den Bodensee – Schwemmholzteppich nach dem Hochwasser im September 2002*



## 12 Referenzen

- Bänziger, R. (1989):** Ursachenanalyse Hochwasser 1987 (interdisziplinäres Forschungsprogramm des Bundesamtes für Wasserwirtschaft); Abschlussbericht zum Teilprojekt A1: Schwemmholz; Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
- Beschta, Robert L. (1983):** The effects of large organic debris upon channel morphology: a flume study; Proceedings of the D.B. Simons Symposium on Erosion and Sedimentation. Simons, Li & Assoc., Ft. Collins, CO
- Bezzola, G. R., J. Abegg und M. Jäggi (1994):** Salinabrücke Brig-Glis; Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 11, S. 165-169.
- Bezzola, G.R., S. Gantenbein, R. Hollenstein und H.-E. Minor (2002):** Verklauung von Brückenquerschnitten; Internationales Symposium Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau; Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 175, S. 87 – 97
- Bezzola, G.R. und D. Lange (2003):** Umgang mit Schwemmholz im Wasserbau; wasser, energie, luft, 95. Jahrgang, Heft 11/12, S. 360 – 363
- Bezzola, G.R., H. Sigg und D. Lange (2004):** Schwemmholzurückhalt in der Schweiz; 10. Internationales Symposium Interpraevent, Riva del Garda (Italien), Band 7, S. 29 - 40
- Bitterlich, E. (1998):** 30 Jahre Erfahrung mit Sortierwerken; Wildbach- und Lawinenverbau, 62. Jahrgang, Heft 136, S. 103 – 105
- Braudrick, C.A. and G.E. Grant (2000):** When do logs move in rivers?; Water Resources Research, Vol. 36, No. 2, p. 571 – 583
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) (2005):** Hochwasser 2005 - Wenig Lothar-Sturmholz im Schwemmholz; Pressemitteilung vom 27. Oktober 2005
- Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) (1998):** Ereignisdokumentation Sachseln (Unwetter vom 15. August 1997); Studienbericht Nr. 8 des Bundesamtes für Wasserwirtschaft
- Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) (2001):** Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitung 2001, Biel

- Duss, H. (1999):** Kommentar zur Abschätzung der Schwemmholzmenge und des Schwemmholzpotentials; Schwemmholzuntersuchungen Riemenstaldnerbach, Zustand 1999, unveröffentlicht
- Eicher, W.: (2004):** persönliche Mitteilung vom 13. September 2004
- Gantenbein, S. (2001):** Verklausungsprozesse – Experimentelle Untersuchungen; Diplomarbeit an Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Sommersemester 2001, unveröffentlicht
- Gotthalmseder, P. (1998):** Bautypen der Geschiebebewirtschaftung; Wildbach- und Lawinenverbau, 62. Jahrgang, Heft 136, S. 81 - 102
- Handschin, W. und H. Duss (1997):** Holzprobleme an Wildbächen (1. Phase: Literaturstudium und Prozessanalyse); unveröffentlicht
- Handschin, W. (2004):** persönliche Mitteilung vom 23. September 2004
- Hochstrasser, H. (1997):** "V-förmiger Treibholzfang und Geschiebeablagerungszone am Chämtnerbach in Wetzikon; wasser, energie, luft; 89. Jahrgang, Heft 7/8, S. 213-214
- Ishikawa, Y. (1990):** Studies on Disasters Caused by Debris Flows Carrying Floating Logs Down Mountain Streams; Sabo Division, Sabo Department, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Tsukuba City
- Jäggi, M. und J. Abegg (1993):** Cimavilla-Brücke, Poschiavo; Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 16-17, S. 295-298
- Keller, E.A. und F.J. Swanson (1979):** Effects of large organic material on channel form and fluvial processes; Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 4: p. 361 – 380
- Kanton Obwalden und Gemeinde Sachseln (2000):** Edisriederbach – Bauprojekt für Geschiebesammler und Holzrückhalterechen
- Keller, Th., O. Künzle und U. Wyss (1998):** Fussgängerbrücke Pontresina in GFK; Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 12, S. 176 - 179
- Knauss, J. (1995):** Treibholzfänge am Lainbach in Benediktbeuren und am Arzbach (ein neues Element im Wildbachausbau); Berichte der Versuchsanstalt Oberrhein und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München, Nr. 76, S. 23 – 66
- Kronfellner-Kraus, G. (1970):** Über offene Wildbachsperrren; Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, Heft 88, Eigenverlag
- Lange, D. und G.R. Bezzola (2002):** Kombiniertes Holz- und Geschieberückhalt in Aufweitungen am Fallbeispiel der Gürbe; Internationales Symposium Moderne

- Methoden und Konzepte im Wasserbau; Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 175, S. 57 – 65
- Lange, D.; H. Sigg und G.R. Bezzola (2004):** Selektiver Schwemmholtzrückhalt; Symposium Lebensraum Fluss; Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München, Nr. 101, S. 214 - 223
- Nakagawa, A. and K. Inoue (1995):** Driftwood behaviour in horizontal two-dimensional basins; HYDRA 2000, Vol. 1, Thomas Telford, London, p. 278 – 283
- Nussbaum, E. (2004):** persönliche Mitteilung vom 16. September 2004
- PlanQuadrat AG (2005):** Verbauung der Enziwigger, Willisau Stadt-/ Land, Rechenanlage Hirseren; Technischer Bericht und Pläne zum Bauprojekt
- Rickenmann, D. (1997):** Schwemmholtz und Hochwasser; wasser, energie, luft, 89. Jahrgang, Heft 5/6: 115-119
- Rimböck, A. (2003):** Schwemmholtzrückhalt in Wildbächen; Dissertation am Lehrstuhl und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München
- Uchiogi, T.; J. Shima; H. Tajima and Y. Ishikawa (1996):** Design methods for wood-debris entrapment; Internationales Symposium Interpraevent 1996, Tagungsband, Vol. 5, S. 279 – 288
- Üblagger, G. (1973):** Retendieren, Dosieren und Sortieren; Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, Band 102, Agrarverlag Wien, S. 335 - 372
- Urbanek, B., M. Hinterhofer und H. Kummer (1999):** Totholz in Fliessgewässern, im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein; Universität für Bodenkultur Wien, Wien
- VAW (1991):** Umleitstollen Campo Vallemagia; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 940
- VAW (1995):** Gestaltung der Mündung des Riemenstaldnerbaches in den Urnersee; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4074
- VAW (1998a):** Geschiebesammler Dorfbach Sachseln; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4126
- VAW (1998b):** Reussbrücke Grund; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4125

- VAW (1999a):** Kelchbach Naters - Geschieberückhalt und Hochwasserentlastung; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4129
- VAW (1999b):** Sachsler Wildbäche – Bericht über die hydraulischen Modellversuche zum Rückhalt von Schwemmholtz; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4137
- VAW (1999c):** Studie zur Schwemmholtzproblematik – Bericht über Modul B (Erfahrungssammlung); Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4139/B
- VAW (1999d):** Studie zur Schwemmholtzproblematik - Hydraulische Modellversuche zum Rückhalt von Schwemmholtz im Geschiebesammler am Sigetsbach in Sachseln (Kt. Obwalden); Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4139/C
- VAW (2000):** Steinibach Hergiswil - Bericht über die hydraulischen Modellversuche zum Rückhalt von Geschiebe und Schwemmholtz; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4152
- VAW (2001):** Schwemmholtz Riemenstaldnerbach; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4138
- VAW (2002):** Holzurückhalterechen Gürbe; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4157
- VAW (2003):** Schwemmholtznetze Enziwigger; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4195
- VAW(2004):** Studie zur Schwemmholtzproblematik – Hydraulische Modellversuche zum Auskämmen von Schwemmholtz mit verteilten Hindernissen; Berichte der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 4139/D
- Vischer, D. und G. R. Bezzola (2000):** Bewegliche Wildbachbrücken und alternative Lösungen; Wasserwirtschaft, 90. Jahrgang, Heft 7/8, S. 394 – 398
- Weber, M.; L. Hunzinger; Ph. Teyssere; H.E. Minor (2000):** Hochwasserumleitung mit Geschiebe- und Holzurückhalt in einem Wildbach; Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2000, Villach, Band 3, S. 357 - 368
- Walther, S.; D. Schönbächler; A. Burkard (1996):** Schlussbericht zum Teilprojekt Schwemmholtz (Projekt „CONSECRU“), unveröffentlicht

- Zahno, M. (2000):** Schwemmholtzrückhalt in Wildbächen – Modellversuche im Labor; Diplomarbeit an Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Sommersemester 2000, unveröffentlicht
- Zollinger, F. (1983):** Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz; Dissertation an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Nr. 7419, Zürich





## 13 Danksagung

Die vorliegende VAW-Mitteilung fasst verschiedene VAW-Berichte zusammen. An dieser Stelle sei nachfolgend allen Sachbearbeitern und Projektleitern herzlich gedankt, die somit einen wesentlichen Beitrag zu dieser Schwemmholz-Mitteilung geleistet haben:

- Monika Weber
- Christine Walser
- Markus Schatzmann
- Hansjürg Sigg
- Daniel Kull
- Roland Hollenstein
- Christian Tognacca
- Lukas Hunzinger
- Arnd Hardlieb.

Ein besonderer Dank gilt dem gesamten Werkstatt- und Hallenteam der VAW, welches mit viel Fleiss und Hilfsbereitschaft die Modelle gebaut und die Versuche betreut hat. Ein grosser Dank geht auch an Daniel Gubser und Werner Eberle des Elektroniklabors der VAW, die mit ihrer Erfahrung dazu beigetragen haben, dass die komplizierte Messtechnik immer gut funktionierte.

An dieser Stelle sei auch dem Fotograf, Herrn Bernhard Etter, herzlich gedankt. Er hat durch seine qualitativ hochwertigen Foto- und Videoaufnahmen einen wesentlichen Beitrag zur Versuchsdokumentation und Versuchsauswertung beigetragen.

Und nicht zuletzt geht ein grosser Dank an den Zeichner Andreas Rohrer, der mit viel Geduld und Akribie die vielen Grafiken in diesem Bericht gestaltet hat.