



Schwemmholz in Wildbächen

Christian Rickli

1. Einleitung

Holz gehört zu jedem natürlichen Gewässer und übt dort wichtige ökologische Funktionen aus. Häufig entstehen Kolke, Kiesbänke und Uferabbrüche in Wildbächen aufgrund von Totholz. Diese Strukturen stellen vielfältige Lebensräume für unterschiedlichste Lebewesen dar (Tockner 2003, Kail 2005, Muhar et al. 2000). Zudem dient organisches Material in und entlang von Gewässern als Nahrung für Kleinlebewesen, und Holzansammlungen sind vielfältige Lebensräume und Refugien sowohl während eines Hochwassers als auch zu Zeiten der Austrocknung. Indem sich zum Beispiel verschiedene Arten insbesondere mit treibendem Holz verbreiten, ist Schwemmholz auch ein wichtiges Ausbreitungsmedium und Vernetzungsglied zwischen Land und Wasser. Bekanntlich stehen diesen ökologischen Qualitäten von Schwemmholz jedoch erhebliche nachteilige Auswirkungen bei Unwetterereignissen gegenüber. Zu nennen sind diesbezüglich insbesondere Verklauungen bei Durchlässen, Brücken und Engstellen mit der Folge von Gerinneausbrüchen und Überschwemmungen (Abbildung 1).



Abbildung 1: Links: Schwemmholz aus einem Wildbach im Alptal SZ (Unwetter vom Juni 2007); rechts: Verklauung an der Goldach SG (Unwetter vom August 2002).

Die Probleme aufgrund von Holz in Gerinnen lassen sich einerseits mit Unterhaltmassnahmen wie das Entfernen oder allenfalls Zerkleinern von Totholz reduzieren. Zudem kann mit baulichen Massnahmen Schwemmholz zum Beispiel zurückgehalten oder schadlos weitergeleitet werden.

Die Schwemmholzsituation kann aber auch durch geeignete Pflegeeingriffe in der ufernahen Bestockung verbessert werden. Aus Sicht der Gefahrenprävention besteht in dieser Hinsicht vielerorts Nachholbedarf, da insbesondere in den letzten Jahrzehnten aus wirtschaftlichen Gründen die forstlichen Arbeiten in den steilen Einhängen immer mehr extensiviert oder sogar ganz aufgegeben wurden.

Im vorliegenden Beitrag finden sich einige Grundlagen und Angaben zum Schwemmholz in Wildbächen und zu den Eintragsmechanismen von Holz aus den seitlichen Einhängen in die Gerinne. Im Weiteren sind Hinweise zum Schwemmholztransport und zu Massnahmen in und entlang von Gerinnen zur Verminderung von allfälligen Schäden durch Schwemmholz dargestellt.

2. Schwemmholzpotential

2.1 Totholz im Wald

Totholz entsteht im Wald insbesondere durch Sturmereignisse mit Windwurf, und durch die Last von Nassschnee, welche ganze Bäume umdrücken oder Kronenteile abbrechen kann. Aber auch ohne abiotische Einfüsse entsteht Totholz durch natürliches Absterben infolge Konkurrenz, Alter oder Schädlingsbefall (Abbildung 2 links). Totholz ist damit ein fixer Bestandteil des Ökosystems Wald. Gemäss dem dritten Landesforstinventar (Erhebungen 2004-2006, Brändli und Abegg 2009) befinden sich im Schweizer Wald im Durchschnitt folgende Totholz mengen: Jura: 9-11 m³/ha, Mittelland: 11-17 m³/ha, Voralpen, 23-44 m³/ha, Alpen: 18-24 m³/ha und Alpensüdseite: 16 m³/ha.



Abbildung 2: links: Totholz in der Bestockung der Einhänge; rechts: Eintrag von Holz durch Seitenerosion und Uferrutschungen in ein Wildbachgerinne.

2.2 Eintrag in Gewässer

Bei Gewässern mit bestockten Ufern fällt Holz infolge der oben erwähnten Prozesse entweder direkt in das Bachbett oder auf den Waldboden und wird später durch gravitative Prozesse vom Hang in den Bach transportiert. Zudem können Lawinen, Hangmuren und Rutschungen auf ihrem Weg zu Tale Bäume mitreissen. Dabei entscheiden die Geländebeziehungen, ob Eintrag in das Gerinne stattfindet oder ob das Holz im Hang liegen bleibt. Holzeintrag erfolgt selbstverständlich verbreitet auch durch die Bachaktivität selbst, vor allem durch Seitenerosion und Uferabbrüche (Abbildungen 2 rechts und 3). Nicht selten erfolgt auch Eintrag von Holz durch Holzschläge und Holzlager auf erodierten Uferböschungen sowie schliesslich durch Versagen von Verbauungen aus Holz im und entlang der Gewässer. Eine Bestandesaufnahme in 10 schweizerischen Wildbächen ergab, dass je ungefähr ein Drittel der Holzstücke im Bachbett durch Rutschungen, Ufererosion und Wind oder Schneeedruck eingetragen worden war (Rickli und Bucher 2006).

Die Bedeutung der einzelnen Eintragsprozesse ist von Bach zu Bach jedoch sehr unterschiedlich und stark von den jeweiligen Einzugsgebieten abhängig. Sehr grosse Mengen können zum Beispiel lokal auch durch Lawinen in die Gerinne eingetragen werden, wie das besonders eindrücklich im Lawinenwinter 1999 zu beobachten war.

Teilpotentiale	Eintragsprozesse*		Transport-wahrscheinlichkeit
	während Hochwasser	zwischen Hochwasser	
Totholz im Bachbett ①	-	-	+++
Uferbestockung ②	U (R, H)	W, S (U)	++
Bestockung Einhänge ③	R, H	R, H, L, W	+

* Eintragsprozesse:

- U = Ufererosion
- R = Rutschungen
- H = Hangmuren
- W = Wind
- S = Schneeedruck
- L = Lawinen

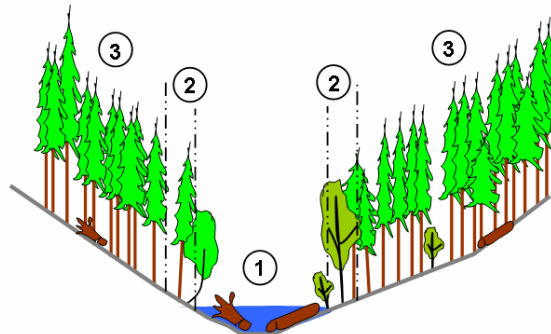


Abbildung 3: Teilpotentiale Schwemmh Holz und massgebende Eintragsprozesse. Bei einem Unwetter weisen Holzstücke aus den verschiedenen Teilpotentialen unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für den Transport im Gewässer bis zu einer kritischen Stelle auf.

2.3 Teil-Potentiale

Die gesamte Menge potentiell mobilisierbaren Schwemmh Holz kann wie in Abbildung 3 schematisch dargestellt in verschiedene Teilpotentiale unterteilt werden: (1) Holz im Abflussbereich, (2) stehende Bäume in unmittelbarer Nähe zum Ufer, und (3) Holz in der Bestockung der Einhänge.

Unterschiedliche Prozesse tragen Holz sowohl während eines Ereignisses als auch in Zeiten ohne Unwetter aus den verschiedenen Teilpotentialen in das Gerinne ein (Abbildung 3). Bei einem Hochwasser wird im Gerinne liegendes Holz mit grosser Wahrscheinlichkeit mobilisiert. Dem gegenüber gelangt beim gleichen Ereignis Holz vom Uferbereich oder aus dem Bestand erst durch Eintragsprozesse in den Abfluss. Die Wahrscheinlichkeit eines direkten Weitertransportes von Holzstücken aus diesen Bereichen bis zu einer kritischen Stelle ist deshalb geringer.

In Wildbächen fällt der Eintrag von Holz ins Gerinne zeitlich häufig nicht mit dem Schwemmh Holztransport im Abfluss zusammen. Der Anteil von im Bachbett liegendem Totholz dürfte insbesondere in kleineren Gewässern einen erheblichen Anteil der gesamten transportierten Schwemmh Holzmenge ausmachen. Im Rahmen des Gewässerunterhaltes kann Holz aus den Wildbachgerinnen entfernt und damit ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion des Schwemmh Holztransportes geleistet werden.

2.4 Abschätzung Holzpotential

Für die Abschätzung der gesamten Holzmenge, welche sich im Bereich eines Wildbaches befindet, kommen grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren in Frage: (1) detaillierte Untersuchungen und Erhebungen zu den verschiedenen Teilpotentialen sowie (2) empirische Schätzformeln. Rickenmann (1997) schlägt beispielsweise eine empirische Beziehung für die potentielle Schwemmh Holzmenge HP vor, bei der als Eingangsgrösse die bewaldete Gerinnelänge $L_{G \text{ bew.}}$ in Kilometer eingesetzt wird:

$$HP \approx 40 * L_{G \text{ bew.}}^2 \quad (1)$$

In Rickenmann (1997) und Rimböck (2003) sind diesbezüglich weitere Ansätze zu finden. Diese Formeln können jedoch nur eine ungefähre Grössenordnung des Holzpotentials angeben und nehmen keine Rücksicht auf die lokalen Besonderheiten. Bessere Schätzungen werden mit Beobachtungen und Erhebungen in den Einzugsgebieten erreicht, was jedoch selbstverständlich mit wesentlich grösserem Aufwand verbunden ist. Allerdings steht bei Gefahrenbeurteilungen und der Bemessung von Massnahmen weniger die Frage nach dem Schwemmh Holzpotential im Zentrum, sondern vielmehr jene nach der effektiv bei einem Bemessungsereignis an einem bestimmten Querschnitt zu erwartenden Schwemmh Holzmenge (vgl. Kap. 3.3). Dazu muss überlegt werden, welcher Anteil dieses Potentials bei einem Hochwasserereignis tatsächlich transportiert wird.

2.5 Totholzsituation in ausgewählten Wildbächen der Schweiz

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der WSL wurden in insgesamt zehn Wildbächen auf einem Abschnitt von einem Kilometer einerseits die Schwemmh Holzvorkommen im Bachbett erfasst (Abbildung 4) und andererseits die Uferbestockung charakterisiert (Rickli und Bucher 2006). Die untersuchten Wildbäche weisen Einzugsgebiete zwischen 0.8 und 3.0 km² auf und liegen in den Schweizer Voralpen und Alpen. Die Bachabschnitte weisen Sohlgefälle von 7 bis 34% auf. Der

berechnete 100-jährliche Hochwasserabfluss liegt zwischen 7 und 26 m³/s und die Einhänge sind durchwegs bestockt und steil.



Abbildung 4: Erhebungen zum Schwemmholt im Geissbach bei Ebnat-Kappel / SG.

Im Abflussbereich der verschiedenen Bäche wurden Holzvolumina von 49 bis 113 m³ (Tabelle 1) und Stückzahlen von 472 bis 879 pro Kilometer erfasst. Die Holzmen gen sind entlang des Bachlaufes sehr ungleichmässig verteilt. Weitere Ergebnisse zum Totholz im Bachbett sind nachfolgend aufgeführt:

- es wurden jeweils viele kleine und nur wenig grosse Holzstücke beobachtet: 80% der Stücke sind kürzer als 5 m und dünner als 23 cm (Abbildung 5).
- ungefähr ein Drittel der Stücke sind ganze Bäume oder Stammstücke mit Stöcken. Sofern diese Stücke transportiert werden, sind sie als besonders gefährlich zu beurteilen.
- bei 40% der Stücke wurde der Zustand des Holzes als gut, bei je 30% als mässig bzw. schlecht beurteilt. Eine Studie in zwei der 10 Wildbäche ergab, dass die Verweildauer bis zu 35 Jahre betrug (Hitz 2008).
- insgesamt 94 Verklausungen wurden in den 10 Bächen beobachtet; d.h. neun bis zehn pro Bach. 16% der Holzstücke befinden sich in diesen Strukturen. Die Verklausungen wurden namentlich durch konzentrierten Holzeintrag (Seitenrunsen, Rutschungen) initiiert.

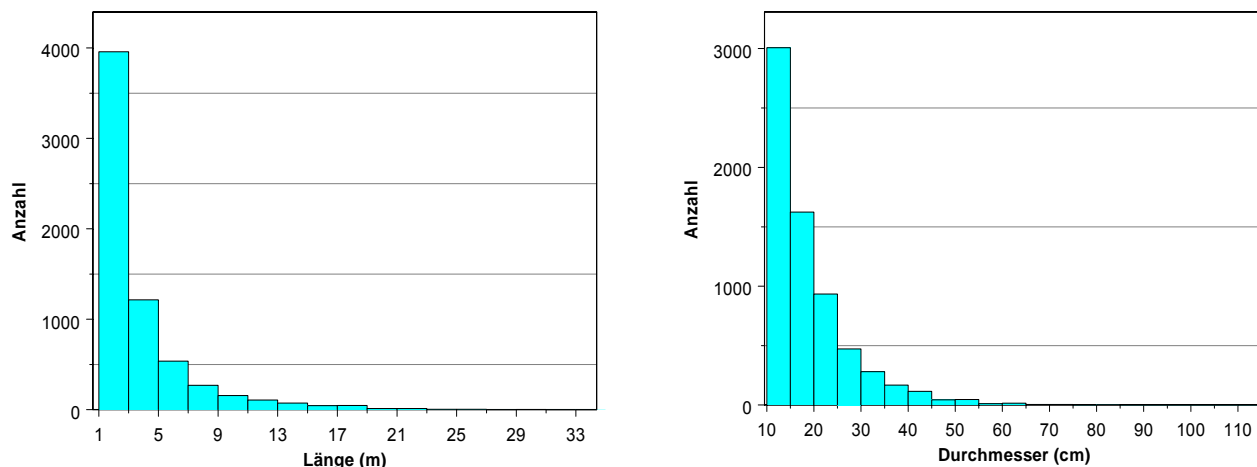


Abbildung 5: Abmessungen der Schwemmholzstücke (N=6728) in den zehn untersuchten Bächen; links: Längenverteilung, rechts: Durchmesserverteilung.

Die Inventur der Uferbestockung auf einem schmalen Streifen beidseits entlang der Bachufer (Stammachse ≤ 1.0 m Abstand vom Ufer) hatte zum Ergebnis, dass pro Bach zwischen 18 und 88 m^3 (ein Extremfall mit 156 m^3) Holz stehen, welche im Fall von hohen Abflüssen leicht zu Schwemmholz werden können. In den angrenzenden Einhängen wurden für die lebende Bestockung Vorratswerte von 147 bis 627 m^3/ha und für das Totholz (stehend und liegend) 20 bis 70 m^3/ha ermittelt. Beide Wertebereiche liegen im Vergleich zu den Ergebnissen des dritten Landesforstinventares der Schweiz in den meisten Bächen über dem Durchschnitt der entsprechenden Regionen. Die Ergebnisse zu den Holzpotentialen in den verschiedenen Bereichen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Holzpotentiale in zehn untersuchten Wildbachabschnitten von einem Kilometer Länge.

Potential		Holzvolumen (m^3)		
		Min.	Max.	Median
1	Totholz im Bachbett (m^3 pro km)	49	113	84
2	Holz auf Uferstreifen (m^3 pro km)	18	156	45
3	Bestandesvorrat Einhänge (m^3 pro ha)	147	627	491
	Totholz Einhänge (m^3 pro ha)	20	70	38

2.6 Weitere Untersuchungen zum Schwemmholzpotential

Im Zusammenhang mit der Schwemmholzmenge im Abflussbereich von Gewässern existieren für den europäischen Raum einige wenige Untersuchungen. Kail (2005) gibt für 29 Gewässerabschnitte (Sohlenneigung bis 2.5%) in Deutschland, Österreich und Frankreich einen Werte von 1.5 bis 2060 m^3 pro Kilometer an, mit einem Median von 17 m^3/km . Kaczka (2003) ermittelte in fünf Bächen in Polen und Deutschland Schwemmholzmengen von 16 bis 85 m^3 pro Kilometer. In der Schweiz sind neben den erwähnten Untersuchungen in zehn Wildbächen nur wenig Daten zum

Schwemmh Holzpotential im Bachbett von Wildbächen bekannt. Bänziger (1990) erfasste im Abflussbereich von Wildbächen des Oberwallis Schwemmh Holzmen gen von ca. 60 bis 100 m³ pro Kilometer, und Kamm (2005) erhob bei Bächen in der Surselva, welche von den Unwetterereignissen 2002 betroffen waren, innerhalb der Erosionslinie von 70 bis 150 m³ pro Kilometer. Die grossen Variationsbreiten der beobachteten Schwemmh Holzmen gen können einerseits mit methodischen Unterschieden erklärt werden, kommen aber auch aufgrund unterschiedlicher Produktivität der Bestockung, der Aktivität der Eintrags- und Gerinneprozesse sowie der Abbaugeschwindigkeit (Dauerhaftigkeit) des Holzes zustande.

3. Aspekte Schwemmh Holztransport

3.1 Transportbeginn

Der Transport von Schwemmh Holz ist abhängig vom massgebenden Verlagerungsprozess. Sind im fraglichen Bach Murgänge möglich, muss davon ausgegangen werden, dass ein sehr grosser Teil des Holzes im Abflussbereich und an den Ufern mitgerissen und verlagert wird. Unter diesen Bedingungen können auch in Kleingerinnen lange Stammstücke, Wurzelstöcke oder sogar ganze Bäume über grössere Strecken transportiert werden (Abbildung 6 links). Dem gegenüber wird in nicht murfähigen Bächen Holz in Bewegung gesetzt, sobald ein bestimmter minimaler Abfluss erreicht wird. Rimböck (2003) beschreibt die in dieser Hinsicht wesentlichen Prozesse beim Transportbeginn von frei im Bach liegendem Totholz: 1) das Aufschwimmen von Holz ab einer minimalen Abflusstiefe, 2) das Rutschen, wenn die Strömungskraft grösser als die Reibung wird und 3) das Anstossen, wobei die Reibung durch Anprallkräfte überwunden wird.



Abbildung 6: Links: Transport von grossen Holzstücken durch Murgang in Kleingerinne mit einer Sohlenbreite von ca. 1.5 m; rechts: Schwemmh Holz in der Reuss.

Modellversuche zeigen, dass die Mobilisierung von Holz bei Hochwasser in grösseren Gewässern, d.h. dort, wo die Bachbreite grösser ist als die Stücklänge, eine Funktion des Winkels zwischen Fließrichtung und Stückachse, der Stückrauigkeit (mit oder ohne Stock und Äste), der Sohlenrauigkeit, der Holzdichte sowie des Verhältnisses zwischen Stückdurchmesser und Abflusshöhe ist (Braudrick und Grant 2000). An der VAW wurden mit Modellversuchen für einen Wildbach (schiessender Abfluss, Sohlengefälle: 7%, Sohlenbreite: 7 m) folgende kritische Bedingungen für den Transportbeginn ermittelt (Lange und Bezzola 2006):

glatte Stämme :	Abflusstiefe > 1.0 bis 1.2 * D (D = Stammdurchmesser)
beastete Stämme:	Abflusstiefe > 1.2 bis 1.5 * D
Stämme mit Wurzelstöcken:	Abflusstiefe > 1.7 * D

Bei Geschiebeführung liegen die erforderlichen Abflusstiefen für den Transportbeginn ungefähr 20 bis 30% tiefer (Geschiebe bildet eine Art Rollenlager, zusätzliche Anprallkräfte). Die aus diesen Versuchen abgeleiteten Beziehungen sind für Wildbäche mit grosser Sohlenrauigkeit nur eingeschränkt anwendbar, da dort oft eine Verkeilung des Holzes auftritt. Zudem nimmt in kleineren Gewässern das Verhältnis zwischen Stücklänge und Sohlenbreite zu und damit die Wahrscheinlichkeit, dass nicht das gesamte Stück in der Strömung liegt.

Der Schwemmholztransport kann sowohl kontinuierlich als auch schwallartig, d.h. in Form von Holzteppichen erfolgen - letzteres insbesondere nach dem Bruch einer Verklausung oder auch bei konzentriertem Holzeintrag z.B. durch eine Rutschung. Zum zeitlichen Verlauf des Schwemmholztransportes während Unwetterereignissen bestehen nur wenig Anhaltspunkte. Verschiedene Autoren vermuten, dass während der Hochwasserspitze und kurz danach am meisten Schwemmholz transportiert wird (z.B. Zollinger 1983).

3.2 Schwachstellenanalyse

Zur Gefahrenbeurteilung gehört neben der Analyse der Totholzsituation und der Transportkapazität auch eine Schwachstellenanalyse (Abbildung 7). Eine Grundlage dazu bieten beispielsweise Ergebnisse von Rinnenversuchen an der VAW. Diese hatten zum Ziel, die Wahrscheinlichkeit von Verklausungen bei Brückenquerschnitten zu ermitteln (Bezzola et al. 2002). Einige Ergebnisse daraus sind:

- die Wahrscheinlichkeit einer Verklausung nimmt bei einem Trapezprofil mit zunehmendem Verhältnis von Stücklänge zu Sohlenbreite zu. Keine Verklausungen wurden bei durchgehender Rechteckgeometrie festgestellt. Damit keine Verklausung eintritt sollte die Sohlenbreite etwa der zweifachen zu erwartenden Stammlänge entsprechen.
- Die Verklausungswahrscheinlichkeit aufgrund von Wurzelstöcken nimmt mit zunehmendem Verhältnis von Stockgrösse zur lichten Durchflusshöhe unter der Brücke zu. Damit keine Verklausung eintritt, sollte die lichte Höhe mindestens dem 1.7-fache der massgebenden Abmessung der zu erwartenden Wurzelstöcke entsprechen.

- die Wahrscheinlichkeit einer Verklausung ist bei konzentriertem Holzanfall grösser als beim Transport von einzelnen Stücken.



Abbildung 7: Schwachstelle mit Handlungsbedarf.

3.3 Abschätzung der transportierten Schwemmholzmenge

Wie erwähnt sind bei Gefahrenbeurteilungen und bei der Bemessung von Massnahmen (z.B. bei Rückhaltmassnahmen) die zu erwartenden Schwemmholzmengen von Bedeutung. Für die Geschwindigkeit, mit welcher sich bei einem kritischen Querschnitt eine Verklausung bildet, ist die Schwemmholzmenge bzw. die Transportintensität wichtig. Ob eine Verklausung entsteht, ist wie oben dargelegt abhängig von den Stückgrössen.

Für die Abschätzung der bei einem Unwetter effektiv am kritischen Querprofil zu erwartenden Schwemmholzmenge kommen verschiedene Verfahren in Frage: (1) bisherige Ereignisse und Erfahrungen im betreffenden Einzugsgebiet, (2) empirische Schätzformeln und (3) detaillierte Untersuchung des Einzugsgebietes. Nachfolgend ist als Beispiel eine empirische Schätzformel von Rickenmann (1997) dargestellt:

$$HM \approx 45 * A_{EG}^{2/3} \quad (2)$$

Dabei ist HM die Holzmenge (m^3) und A_{EG} die Fläche des Einzugsgebietes (km^2). Weitere empirische Formeln zur transportierten Holzmenge sind in Rimböck (2003) zu finden. Wiederum geben diese empirischen Ansätze nur eine Grössenordnung an und sind deshalb nur für grobe Schätzungen zu verwenden. Für genauere Untersuchungen sind Beobachtungen und Erhebungen in den

betreffenden Einzugsgebieten vorzunehmen. Dazu werden ausgehend vom kritischen Punkt (z.B. Schwachstelle) zunächst jene Bachabschnitte bestimmt, in denen überhaupt Schwemmholttransport stattfinden kann. Relevante Kriterien sind in diesem Zusammenhang: Murfähigkeit des Baches, Breite Bachbett > Stücklänge, Fliesstiefe > Holzdurchmesser, keine markanten Engstellen und potentielle Ablagerungsstrecken. In den Abschnitten mit potentiell Schwemmholttransport wird in Anlehnung an Rimböck (2003) die zu erwartende Schwemmholtmenge aus der Summe der Teilpotentiale (Bachbett, Ufer, Hang) abgeschätzt (Abbildung 8). Dazu wird im Rahmen von Feldbeurteilungen zunächst die Holzmenge im Bachbett abgeschätzt. Weiter werden die möglichen Eintragsprozesse beurteilt: In welchen Bereichen muss beim Bemessungsereignis mit Ufererosion gerechnet werden? Wo können beim Bemessungsereignis Rutschungen und Hangmuren losbrechen und wo sind die Hänge steil genug, damit diese zusammen mit dem Holz bis in das Gerinne auslaufen? Der Holzeintrag kann grob abgeschätzt werden aus der betroffenen Fläche multipliziert mit dem entsprechenden Holzvorrat. Im Weiteren muss für jedes Teilpotential bestimmt werden, zu welchem Anteil das Holz nach dem Eintrag im Gerinne bis zum kritischen Querprofil weitertransportiert wird.

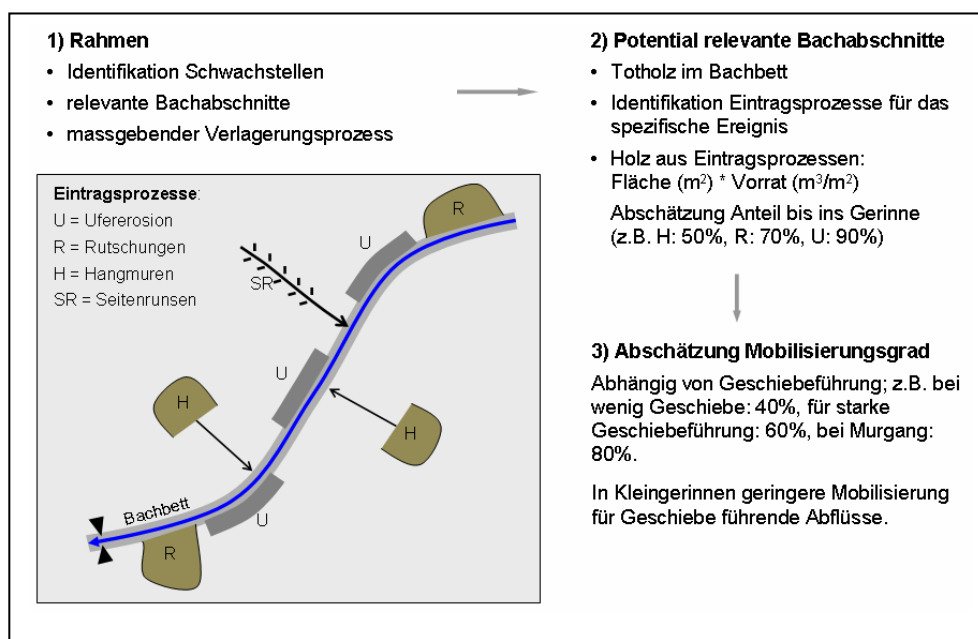


Abbildung 8: Mögliches Vorgehen zur Abschätzung der zu erwartenden Schwemmholtmenge aufgrund von Geländebeurteilungen.

3.4 Erfahrungen zum Schwemmholttransport während der Unwetter 2005

Im Rahmen der Ereignisanalyse Unwetter 2005 des BAFU wurden verschiedene Aspekte der Schwemmholtproblematik untersucht (Waldner et al. 2007 und 2008, Schmocker et al. 2008). Eine Analyse von Schwemmholtablagerungen entlang von Talflüssen und in Seen ergab mehr als 100'000 m³ Schwemmholt. Der grosse Anteil an frischem Holz in den untersuchten Schwemmholtablagerungen weist darauf hin, dass viel Holz aus rezenten Eintragsprozessen stammte (Ab-

bildung 9). Die Zusammensetzung wies grosse regionale Unterschiede auf. Gesamthaft gesehen lag der Frischholzanteil zwischen 50 und 75 %. In Einzelfällen wurde ein erheblicher Anteil Bauholz gefunden. Weniger als 15 % des Schwemmholzes wiesen Borkenkäferspuren auf. Solche Spuren sind bei liegen gelassenem Sturmholz normalerweise häufig anzutreffen. Damit war liegen gelassenes Lothar-Sturmholz nicht wesentlich verantwortlich für die Schwemmholzprobleme.

Eine weitere Analyse widmete sich schwemmholzrelevanten Prozessen in ausgewählten Wildbächen. Dabei zeigte sich, dass dort während der Unwetter vom August 2005 mehrheitlich nur über kürzere Strecken und in geringem Ausmass Schwemmholztransport stattfand (Ausnahme: einige Bäche mit Murgängen). Die Starkniederschläge lösten jedoch in den Einhängen der betroffenen Bäche zahlreiche Rutschungen und Hangmuren aus, welche neben Geschiebe auch Holz in die Gerinne eintrugen. Durch die spezielle Niederschlagsituation dieses Ereignisses wurden in den Wildbächen zwar keine Hochwasserabflüsse mit erheblichem Schwemmholztransport ausgelöst, jedoch die Totholzmenge in den Bachbetten erhöht. Dadurch vergrösserte sich in diesen Wildbacheinzugsgebieten das Gefahrenpotential durch Schwemmholz bei künftigen Hochwasserabflüssen.

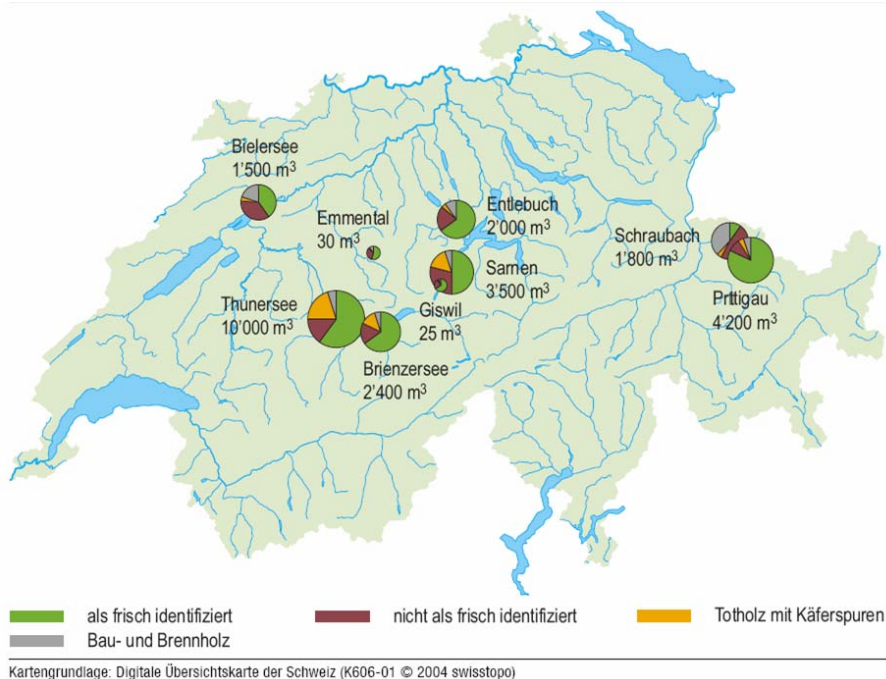


Abbildung 9: Volumenanteile von verschiedenen Holztypen in den untersuchten Schwemmholzablagerungen der Unwetter 2005 (Waldner et al. 2007).

4. Massnahmen

4.1 Grundsätzliches

Zu den Massnahmen im Bereich Hochwasserschutz und im Speziellen zur Reduktion von Schwemmholzproblemen gehören planerische/organisatorische Massnahmen, Unterhalts- und Pflegemassnahmen sowie bauliche Massnahmen. Aus Sicht des Gesetzgebers ist der Schutz in

erster Linie mit planerischen Massnahmen, Unterhalt der Gerinne und mittels Schutzwaldpflege zu erreichen. Erst in zweiter Priorität sind technische Massnahmen vorzusehen.

4.2 Unterhalt und Schutzwaldpflege

Im Rahmen von Begehungen z.B. im Frühjahr und nach grösseren Ereignissen sollte die Totholz-situation in den Gerinnen regelmässig neu beurteilt werden. Darauf abgestützt werden die Unterhaltsmassnahmen geplant: Entfernen von Holz aus dem Gerinne (notfalls Zersägen auf ungefährliche Längen) sowie Entfernen von instabilen Uferbäumen.



Abbildung 10: Eingriffe unterschiedlicher Stärke in ufernahen Bestockungen von Wildbächen. Ein vollständiges Entfernen der Ufervegetation (rechtes Bild) stellt die Stabilität der Einhänge in Frage.

Die Reduktion von Holzeintrag zwischen Ereignissen kann durch Pflegeeingriffe in der Bestockung der Einhänge erreicht werden. Den Eingriffen liegen folgende Zielsetzungen zugrunde: Einerseits Förderung der nachhaltigen Wirkung des Waldes gegen Erosion, Rutschungen und Hangmuren, andererseits Förderung der Vitalität und Erhöhung der Stabilität gegenüber Wind, Schneebruch/-druck und biotischen Gefährdungen wie Borkenkäfer (Abbildung 10). Die Massnahmen richten sich im Allgemeinen nach den Grundsätzen in der Publikation "Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald" NaiS (Frehner et al. 2005). Eine Untersuchung in zehn Wildbächen in den schweizerischen Voralpen und Alpen zum Einfluss der Uferbestockung auf das Totholzvorkommen im Bachbett (Rickli und Bucher 2006) ergab zudem Folgendes:

- bei den Bestandesmerkmalen Vorrat, Bestandesalter, Baumartenmischung und Bestandesstruktur ist kein eindeutiger Zusammenhang mit der Totholzmenge im Bachbett zu erkennen.

- Die beiden Merkmale „Bestandesstabilität“ und „Totholz im Bestand“ wirken sich gemeinsam auf die Menge Totholz im Bachbett aus: Je mehr Totholz in den Einhängen gefunden wurde und je instabiler die Bestockung war, desto mehr Totholz wurde im Bachbett vorgefunden.

Diese Ergebnisse sind ein Hinweis darauf, dass mit Massnahmen zur Förderung der Bestandesstabilität und zur Reduktion des Totholzanteils in den Bacheinhängen ein Beitrag zur Verminderung des Eintrags in das Gerinne und damit des Schwemmholtzvorkommens im Bachbett geleistet werden kann. Die Vorratsreduktion stellt kein primäres Ziel dar.

Die Art der Massnahmen sowie der zu bearbeitende Bereich sind in Abhängigkeit der Prozesse und der lokalen Geländeverhältnisse festzulegen (Tabelle 2). Aus Sicht der Schwemmholtzproblematik sind nur dort Pflegeeingriffe in den Bacheinhängen notwendig, wo unter den lokalen Geländevoraussetzungen (Topographie und Bodeneigenschaften) Eintragsprozesse entstehen können und sich diese auch bis in das Gerinne auswirken. Neben forstlichen Kenntnissen ist deshalb auch Know-how hinsichtlich Hangprozesse erforderlich. Die Nettokosten von Massnahmen in Bacheinhängen liegen derzeit häufig im Bereich von etwa 150 bis 200 Fr.- pro Kubikmeter.

Tabelle 2: Unterhalts- und Pflegemassnahmen sowie Bearbeitungsbereiche unter Berücksichtigung der Mobilisierungs- und Eintragsprozesse.

Mobilisierung, Eintragsprozess	Massnahmen/Zielsetzung	zu bearbeitender Bereich
Totholz im Gerinne	Holz aus dem Gerinne entfernen, evtl. zersägen	Hochwasser-Abflussbereich; wo Holztransport möglich ist
Ufererosion	instabile Bäume entfernen	Uferbereich; wo Erosion und Rutschungen zu erwarten sind
Rutschungen, Hangmuren	Insbesondere: tief wurzelnde Baumarten fördern, Stabilitätspflege, Verjüngung fördern/einleiten, keine Lücken (gemäss NaiS)	Einhänge; in Abhängigkeit der möglichen Entstehungs-Orte und der Reichweiten der Hangmuren
Windwurf, Schneedruck	Insbesondere: widerstandskräftige Baumarten / Vitalität fördern, Stabilitätspflege (gemäss NaiS)	Uferbereich bis ca. eine Baumlänge, in sehr steilen Hängen mehr
Lawinen	Stabilitätspflege, keine Lücken (gemäss NaiS)	Anrissbereich

Im Zusammenhang mit forstlichen Massnahmen im unmittelbaren Gerinnebereich bestehen einige Grundlagen. Bereits vor längerer Zeit haben Glenz und Walther et al. (1996) Pflegemassnahmen in Abhängigkeit gewisser Gerinneigenschaften vorgeschlagen. In den letzten Jahren wurden zudem in einzelnen Kantonen Handlungsanleitungen und Projektrichtlinien zur Pflege ufernaher Bestockungen erarbeitet, z.B. im Kanton Bern das Rahmenprojekt "Minimale Schutzwaldpflege in Gerinneinhängen" (Amt für Wald KAWA, Kreisschreiben KS6.1/5) oder im Kanton Luzern das Projekt "Nachhaltiger Schutz entlang von Fliessgewässern NASEF" (Covi 2008).

4.3 Dringlichkeit von Massnahmen

Massnahmen zur Reduktion des Schwemmholzpotentials (im Bach und in den Einhängen) sowie des Schwemmholztransportes sind nur dort nötig, wo einerseits Schwachstellen im Gerinne (z.B. enge Durchlässe) und erhebliches Schadenpotential vorhanden sind und andererseits bei Extremereignissen viel Schwemmholz bis zu den entsprechenden kritischen Stellen transportiert werden kann. In Abbildung 11 sind einige Aspekte dargestellt bezüglich der Fragen ob und wie dringlich Massnahmen zu ergreifen sind.

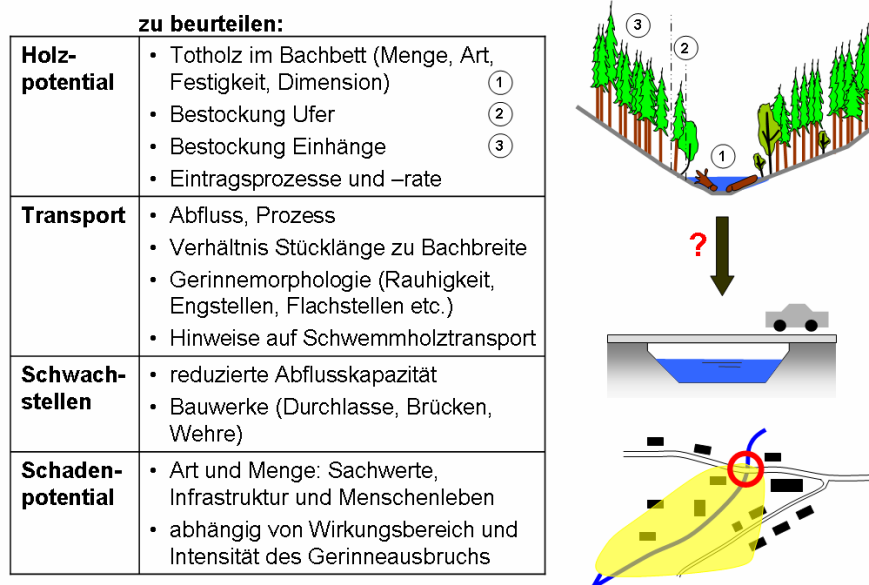


Abbildung 11: Zu beurteilende Aspekte bei der Festlegung von Dringlichkeiten von Massnahmen.

Das Entfernen bzw. notfalls Zersägen von Totholz sowie das Entfernen instabiler Uferbäume wirken sich unmittelbar auf die Schwemmholzsituation in und entlang des Gerinnes aus. Mit diesen Massnahmen kann somit die Gefahrensituation für das nächste zu erwartende Unwetterereignis erheblich verbessert werden und sind in einem kritischen Fall in erster Priorität zu ergreifen. Dem gegenüber kann mit Pflegeeingriffen in der ufernahen Bestockung der Eintrag von Holz auch längerfristig und nachhaltig reduziert werden. Abschliessend soll jedoch betont werden, dass Schwemmholztransport bei Hochwasserereignissen trotz der erwähnten Massnahmen nie vollständig ausgeschlossen werden kann.

Literatur

- Bänziger, R., 1990: Schwemmholz im Unwettersommer 1987. Schweiz. Ingenieur und Architekt, 47, 1354-1358.
- Brändli, U.B., Abegg, M., 2009: Der Schweizer Wald wird immer natürlicher. Wald und Holz 7: 27-29.
- Bezzola, G.R., Gantenbein, S., Hollenstein, R., Minor, H.-E., 2002: Verklausung von Brückenquerschnitten. Proc. Int. Symp. Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau: 87-97.
- Braudrick, C.A., Grant, G.E., 2000: When do logs move in rivers? Water resources research, vol.26 (2), 571-583.
- Covi, S., 2008: Nachhaltiger Schutz entlang von Fließgewässern. Schweiz. Z. Forstwes. 159/7: 198-204.
- Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit besonderer Schutzfunktion. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Glenz und Walther, Schönbächler und Burkhard, 1996: Schwemmholz. Projekt Consécru, Schlussbericht Teilprojekt Schwemmholz. Projektgemeinschaft Glenz und Walther, Brig, D. Schönbächler, Selkingen, A. Burkhard, Brig.
- Hitz, O., 2008: Dendrogeomorphologische Prozessanalyse zum Schwemmholzaufkommen und Rekonstruktion von Ufererosion zweier voralpiner Wildbachsysteme. Diss. Nr. 1605 Univ. Fribourg, Eidg. Forschungsanst. WSL, 191 S.
- Kail, J., 2005: Geomorphic effects of large wood in streams and rivers and its use in stream restoration: a central Europe perspective. Dissertation Universität Duisburg-Essen, 152 S.
- Kamm, S. 2005: Analyse ausgewählter Schwemmholz-Ereignisse des Jahres 2002. Diplomarbeit ETH-Z, Dep. Umweltwissenschaften, Studiengang Forstwissenschaften, 71 S. (unveröff.)
- Kaczka, R.J., 2003: The coarse woody debris dams in mountain streams of the central Europe, structure and distribution. Studia geomorpologica Carpatho-Balcanica 37: 112-127.
- Lange, D., Bezzola, G.R., 2006: Schwemmholz: Probleme und Lösungsansätze. Mitteilung Nr. 188, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. 125 S.
- Muhar, S., Jungwirth, M., Moog, O., 2000: Funktionen der Vegetation für die Lebensgemeinschaften von Fließgewässern. Ingenieurbiologie 2/00: 25-31.
- Rickenmann, D., 1997: Schwemmholz und Hochwasser. wasser, energie, luft 89 (5/6), 115-119.
- Rickli, C., Bucher, H.U., 2006: Einfluss ufernaher Bestockungen auf das Schwemmholzvorkommen in Wildbächen. Projektbericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Eidg. Forschungsanstalt WSL. 94 S. (<http://www.wsl.ch/forschung/forschungsprojekte/schwemmholzvorkommen/>)
- Rimböck, A., 2003: Schwemmholzrückhalt in Wildbächen. Grundlagen zu Planung und Berechnung von Seilnetzsperrern. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München. 163 S.
- Schmocker, L., Lange, D., Waldner, P., 2008: Interaktion von Schwemmholz mit Hindernissen. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds) 2008: Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 - Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahregrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Umwelt-Wissen Nr. 0825, S. 168-181.

- Tockner, K., Langhans, S., 2003: Die ökologische Bedeutung des Schwemmgutes. *wasser, energie, luft* 95 (11/12), 353-354.
- Waldner, P., Rickli, C., Köchli, D., Usbeck, T., Schmocker, L., Sutter, F., 2007: Schwemmholz. In: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707, S. 181-193.
- Waldner P., Schmocker L., Sutter F., Rickenmann D., Rickli C., Lange D., Köchli D., 2008: Schwemmholzbilanzen. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds) 2008: Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 - Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahregrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf. Umwelt-Wissen Nr. 0825, S. 136-143.
- Zollinger, F., 1983: Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz (ihre Morphologie und die Möglichkeiten einer Steuerung). Diss. ETHZ Nr. 7419.