

Einfluss ufernaher Bestockungen auf das Schwemm- holzvorkommen in Wildbächen

Projektbericht Dezember 2006



Forschungsprojekt: "Einfluss ufernaher Bestockungen
auf das Schwemmholzvorkommen in Wildbächen"

Projektleitung: Christian Rickli, Eidg. Forschungsanstalt WSL,
Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

Projektbericht vom 22.12.06 zuhanden des Bundesamtes
für Umwelt BAFU, Sektion Schutzwald und Naturgefahren

Verfasser: Christian Rickli und Hansueli Bucher

Inhalt

Vorwort	5
1 Einleitung	6
1.1 Rahmen.....	6
1.2 Zielsetzung.....	6
1.3 Einflussgrößen Schwemmholtgefahr.....	6
1.4 Hypothesen.....	8
2 Grundlagen	9
2.1 Begriffe.....	9
2.2 Stand der Kenntnisse.....	9
2.2.1 Einfluss von Totholz auf Gerinnemorphologie und Ökologie	9
2.2.2 Wirkungen der Vegetation im Uferbereich	10
2.2.3 Entstehung von Totholz - Totholzmengen	10
2.2.4 Eintrag von Holz in den Bach	11
2.2.5 Schwemmholt-Potentiale.....	12
2.2.6 Transport von Holz in Fliessgewässern	13
2.3 Schwemmholt und Naturereignisse	14
2.3.1 Allgemeines	14
2.3.2 Ereignisse mit Schwemmholtproblemen	14
2.3.3 Abschätzung des Schwemmholtzanfalles.....	15
2.3.4 Schutzbauwerke	17
2.4 Ufervegetation und Schwemmholtvorkommen	17
3 Methoden	19
3.1 Methodischer Ansatz	19
3.2 Erhebungen.....	19
3.2.1 Allgemeines	19
3.2.2 Vermessung des Bachlaufes, Quer- und Hangprofile.....	20
3.2.3 Gerinne- und Hangprozesse	20
3.2.4 Schwemmholt im Abflussbereich	21
3.2.5 Potential aus Ufererosion (Erhebung Uferbäume).....	22
3.2.6 Potential aus Bestand (Erhebung Bestand).....	23
3.2.7 Totholz im Bestand.....	23
3.2.8 Bestandesbeschreibung	24
3.2.9 Grundlagen pro Untersuchungsobjekt	24
3.3 Untersuchungsobjekte	24
3.3.1 Auswahlkriterien	24
3.3.2 Ausgewählte Bäche.....	25
3.3.3 Forstwirtschaftliche Nutzung	26
3.3.4 Landwirtschaftliche Nutzung	27
3.3.6 Ereignischronik	28
4 Ergebnisse	29
4.1 Eigenschaften der untersuchten Bachabschnitte	29
4.2 Holz im Bachbett	31
4.2.1 Allgemeines	31
4.2.2 Holzvolumen und Stückzahlen	31
4.2.3 Abmessungen der Totholzstücke	33
4.2.4 Stückart	34
4.2.5 Holzzustand.....	36
4.2.6 Holzart	37
4.2.7 Eintrag	38
4.2.8 Mobilität, Wirkung und Schnittstellen	39
4.2.9 Verklausungen	40
4.3 Holzpotential aus Ufererosion	41
4.3.1 Allgemeines	41
4.3.2 Volumen und Stammzahlen	41
4.3.3 Baumarten	42
4.4 Holzpotential der ufernahen Bestockung	43

4.4.1 Allgemeines	43
4.4.2 Lebender Stehendvorrat.....	43
4.4.3 Totholz.....	45
4.5 Qualitative Bestandesbeurteilung	47
4.5.1 Allgemeines	47
4.5.2 Angaben zum Standort.....	47
4.5.2 Bestandestypologie	48
4.5.3 Stabilität.....	50
4.5.4 Verjüngung	51
4.6 Zusammenstellung der Resultate und statistische Auswertung	52
4.7 Schwemmholt in Wildbächen während der Unwetter 2005	54
5. Diskussion	57
5.1 Allgemeines.....	57
5.2 Methodik/Aufnahmeverfahren.....	57
5.3 Bacheigenschaften	58
5.4 Holzvorkommen im Bachbett.....	59
5.5 Bestockung	62
5.5.1 Bestockung auf dem Uferstreifen	62
5.5.2 Bestockung in den Bacheinhängen.....	63
5.6 Gesamtbeurteilung.....	66
5.7 Massnahmen.....	67
5.8 Schwemmholt in Wildbächen während der Unwetter 2005	69
5.9 Zukünftige Forschungsfelder	70
6. Zusammenfassung	71
Literatur.....	74
Anhang	78
A.1 Aufnahmeanleitung.....	78
0. Auswahl Gerinneabschnitt.....	78
1. Vermessung und Charakterisierung Wildbachgerinne (Formular A)	78
2. Erfassung Schwemmholt im Gerinne (Formular B).....	79
3. Erfassung potentielles Schwemmholt durch Ufererosion (Formular C)	81
4. Stichprobenerhebung Bestand (Formular D)	81
5. Bestandesbeurteilung (Formular E)	83
6. Vermessung Querprofil Gerinne und Hangprofil (Formular F).....	85
A.2 Ergänzungen Kapitel 3	86
A.3 Ergänzungen Kapitel 4	88
A.4 Statistische Auswertungen	93

Vorwort

Bei Unwetterereignissen ist Schwemmholt oft ein grosses Thema. Dies war auch bei den Schadenereignissen vom August 2005 wieder der Fall. Nach derartigen Ereignissen mit Beteiligung von Schwemmholt stellt sich in der Vergangenheit oft die Frage, mit welchen Massnahmen und mit welchem Aufwand durch Eingriffe in die ufernahe Bestockung die Schwemmholtproblematik entschärft werden könnte.

Im Anschluss an die Unwetter des Jahres 2002, bei denen unter anderem auch erhebliche Schwemmholtprobleme entstanden, fanden im Herbst 2002 erste Gespräche mit Peter Greminger (damals Eidg. Forstdirektion, Bereich Schutzwald und Naturgefahren) statt betreffend eines Forschungsprojektes an der WSL mit finanzieller Unterstützung durch die Eidg. Forstdirektion. In der Folge wurde ein Projekt mit dem Titel "Einfluss ufernaher Bestockungen auf das Schwemmholtvorkommen in Wildbächen" formuliert.

Im Herbst 2003 konnte mit den Projektarbeiten in den Wildbächen begonnen werden, wobei zunächst erheblicher Zeitaufwand in die Erarbeitung der Methodik investiert werden musste. Die Felderhebungen fanden hauptsächlich während der Sommer-/Herbstmonate der Jahre 2004, 2005 und 2006 statt, wobei jeweils pro Jahr drei bis vier Wildbäche in Bezug auf die Schwemmholtproblematik intensiv untersucht wurden. Die Auswahl der ersten Bäche erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Projekt "Jahrringanalytische Rekonstruktion von Ufererosion und Schwemmholtvorkommen in Schweizer Wildbächen" der Universität Fribourg und der WSL (Dissertation Oliver Hitz), welches ebenfalls durch die damalige Forstdirektion unterstützt wurde. Aus Anlass der Unwetter 2005 mussten die Erhebungen im Herbst 2005 zugunsten von Arbeiten an der Ereignisanalyse des Bundesamtes für Umwelt unterbrochen werden.

Die letzten Felddaten wurden im Herbst 2006 erfasst. Damit stand zwischen den Feldarbeiten und dem Projektabchluss nur wenig Zeit zur Verfügung. Der vorliegende Bericht schöpft demzufolge noch nicht das gesamte Potential der erhobenen Daten aus. Weitere Auswertungen und Interpretationen sollen im Rahmen weiterführender Publikationen und Umsetzungsarbeiten erfolgen.

Bei den Erhebungen unter teilweise schwierigen Bedingungen sowie bei der Datenverarbeitung konnte auf die tatkräftige Unterstützung von Roman Meier, Stefan Kamm und Nanchoz Zimmermann gezählt werden. Hansueli Bucher war bei allen Felderhebungen dabei, garantierte für gleich bleibende Qualität der Felddaten und wirkte bei der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse mit. Folgende Personen unterstützen das Projekt durch wesentliche Beiträge: Adrian Lanz im Zusammenhang mit der Bestandes- und Totholzinventur, Frank Graf im Zusammenhang mit den statistischen Auswertungen und Albert Böll (alle WSL). Allen Mitwirkenden sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

1 Einleitung

1.1 Rahmen

Totes Holz in Gewässern und an den Ufern trägt wesentlich zur ökologischen Vielfalt der gerinnenahen Lebensräume bei. Allerdings weisen Unwetterereignisse wie beispielsweise jene des Jahres 2005 (BAFU, in Vorber.) auch auf die aus Sicht der Gefahrensituation nachteiligen Auswirkungen von Schwemmholt hin: beispielsweise Verklausungen bei Durchlässen, Brücken und Engstellen mit der Folge von Gerinneausbrüchen und Überschwemmungen.

Die Probleme aufgrund von Holz in Gerinnen lassen sich einerseits durch bauliche Massnahmen (z.B. Schwemmholtzrückhalt) reduzieren. Das Entfernen oder Zerkleinern von Totholz stellt eine weitere Möglichkeit dar, die Gefahren von Verklausungen zu entschärfen. Der Eintrag von Holz in die Bachläufe kann jedoch auch durch die Pflege der bachnahen Bestockungen beeinflusst werden. Allerdings werden Arbeiten in den steilen Einhängen von Wildbächen aus wirtschaftlichen Gründen immer mehr extensiviert oder aufgegeben. Um verschiedene Fragen im Zusammenhang mit dem Einfluss der Pflege ufernaher Bestände auf das Schwemmholtvorkommen in Wildbächen zu bearbeiten, wurde im Herbst 2003 an der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL ein von der damaligen Eidg. Forstdirektion (heute BAFU, Abteilung Gefahrenprävention) in Auftrag gegebenes Forschungsprojekt in Angriff genommen.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen des Projektes sollen Grundlagen erarbeitet werden, die zur Beurteilung der Bedeutung und Wirksamkeit von Unterhaltsmassnahmen in den Gerinnen und von waldbaulichen Pflegemassnahmen in den Einhängen dienen. Folgende Aspekte stehen im Vordergrund:

- Analyse der Schwemmholtzsituation in Wildbächen
- Zusammenhang zwischen dem Zustand bzw. der bisherigen Behandlung der ufernahen Bestockung und dem Schwemmholtzanfall in den Gerinnen
- Einfluss der Uferpflege und der waldbaulichen Bestandespflege auf den Schwemmholtzanfall in Gerinnen, optimale Bestockungen im Hinblick auf die Schwemmholtzproblematik, Aufwand für die Uferpflege bzw. die waldbauliche Bestandespflege im Verhältnis zur Reduktion von Gefahren durch Schwemmholt in Gerinnen

Die Erkenntnisse aus dem Projekt sollen zudem eine Grundlage sein zur Erstellung bzw. Erweiterung von Anleitungen zuhanden der Praxis (namenlich zur Thematik Schutzwald und Wildbachgefaren). Fragen zum Transportvorgang von Schwemmholt durch Hochwasser bzw. Murgang oder beispielsweise zum Schwemmholtzrückhalt sind nicht primärer Gegenstand dieses Forschungsprojektes. Trotzdem werden im Zusammenhang mit den Unwettern 2005 gewisse Aspekte zum Schwemmholt-Transport an ausgewählten Objekten dargestellt.

1.3 Einflussgrößen Schwemmholtgefahr

Nachfolgend werden einige pauschale Annahmen und Zusammenhänge zum Eintrag von Schwemmholt in die Gerinne und zur Gefahr durch Schwemmholttransport dargestellt. Sie basieren auf allgemeinen Annahmen und Überlegungen und dienen der Formulierung von konkreten Fragestellungen bzw. Hypothesen.

Gefahr durch Schwemmholtz

Holz wird zur Gefahr, wenn es durch Hochwasser oder Murgang transportiert wird oder den Abfluss ungünstig beeinflusst, z.B. Aufstau mit der Gefahr von nachfolgenden Schwallwellen oder Ablenkung des Abflusses in eine ungünstige Richtung (Ufererosion). Im Rahmen des Projektes wird davon ausgegangen, dass die Gefahr aufgrund von Schwemmholtz umso grösser ist, je mehr Holz in einem Wildbach während eines Unwetterereignisses mobilisiert wird und je grösser und sperriger die Holzstücke sind. Sie wird zudem beeinflusst durch die Ereignisaktivität und Transportkapazität des Gerinnes (Abb. 1.1).

Eintrag von Holz in das Bachbett - Zeitpunkt

Die im Falle eines Unwetterereignisses mobilisierbare bzw. mobilisierte und damit gefährliche Holzmenge setzt sich wie folgt zusammen:

- Holz, welches bei Ereignisbeginn bereits im Abflussbereich des Gewässers liegt. Die Holzmenge im Gerinne kann präventiv z.B. durch Entnahme im Rahmen des Gewässerunterhaltes reduziert werden.
- Holz, welches während des Ereignisses frisch eingetragen wird (Ufererosion, Uferrutschungen). Aus Sicht der Gefahrenabwehr ist der Holzeintrag während eines Ereignisses problematischer, da Eingriffe während des Ereignisses nicht möglich sind.

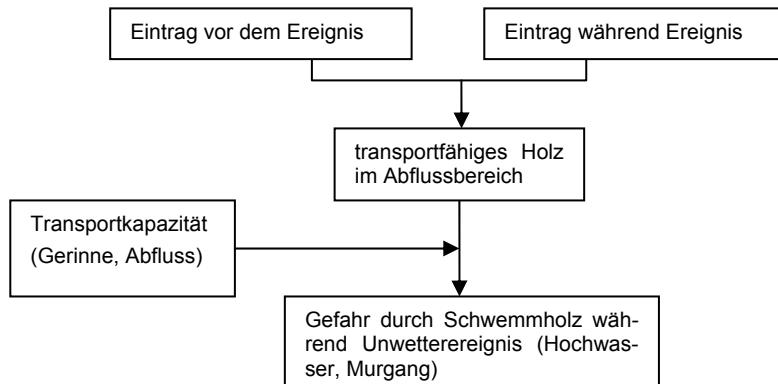


Abb. 1.1: Eintrag von Holz in das Gerinne und daraus entstehende Schwemmholtzgefahr.

Eintragsprozesse

Holz gelangt namentlich durch die Eintragsprozesse Ufererosion, Uferrutschung, Hangrutschung, Wind, Schneedruck und Lawinen in das Gerinne. Während Unwetterereignissen wird Holz jedoch nur durch die Prozesse Ufererosion, Uferrutschung und Hangrutschung (und evtl. Wind) eingetragen (Abb. 1.2).

Eintragsrate

Die Eintragsrate von Holz aus dem Hang in das Gerinne (Holzmenge pro Zeiteinheit) ist abhängig von:

- der "Verfügbarkeit/Quelle", d.h. hauptsächlich von der Bestockung bzw. deren Eigenschaften: unmittelbar z.B. vom Bestandesvorrat und mittelbar z.B. von der Bestandesstabilität, Baumartenzusammensetzung, dem Bestandesalter, etc. (aufgrund des Einflusses auf die Tot- und Fallholzproduktion und auf die Hangstabilität). Zum Teil gelangt zudem bei Holzschlägen Schlagabbaum in den Gerinnebereich. Bei Hochwasserereignissen können Holzverbauungen (Längs-, Querwerke aus Holz) oder Holzlager entlang der Gewässer (im Fall von Ufererosion) weggerissen und zu Schwemmholtz werden.
- der Intensität (Ausmass und Häufigkeit) der Eintragsprozesse. Diese ist vor allem abhängig von der Art des Eintragsprozesses, von der Topographie und der Hangstabilität.

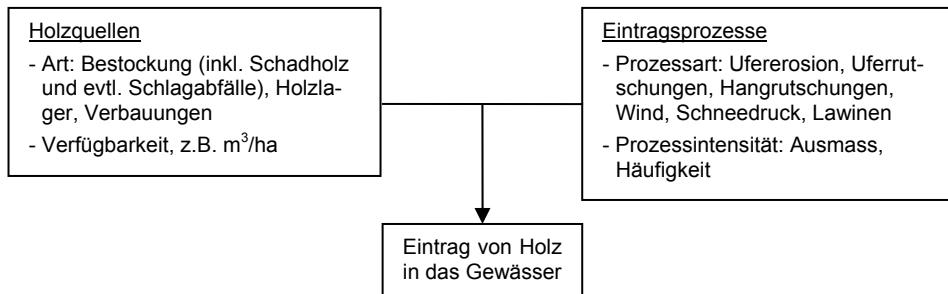


Abb. 1.2: Eintrag von Holz in ein Gerinne: Holzquellen und Eintragsprozesse.

Massnahmen

Im Zusammenhang mit der Reduktion der Gefahr durch Schwemmholtz sind verschiedene Massnahmen denkbar. Dies sind gemäss Abb. 1.2 Massnahmen in Bezug auf die Intensität der Eintragsprozesse (z.B. Reduktion der Eintragsprozesse durch Verbauungen) sowie Massnahmen zur Reduktion der Quellen (z.B. Vorratsreduktion).

1.4 Hypothesen

Die formulierten Projektziele (Kapitel 1.2) stehen in engem Bezug zueinander. Sie können letztlich zu folgender Frage zusammengefasst werden: "Welchen Beitrag können welche waldbauliche Pflegemassnahmen leisten, damit weniger bzw. weniger gefährliches Totholz in einem Bachbett zu liegen kommt?" Die oben skizzierten Zusammenhänge dienen als Grundlage für die Formulierung der Hypothesen. Dabei wird davon ausgegangen, dass mit geeigneten Pflegemassnahmen verschiedene Bestockungsmerkmale beeinflusst werden können. Dazu gehören z.B. der Bestandesvorrat, die Entwicklungsstufe, die Bestandesstruktur und die Baumartenzusammensetzung. Zudem kann mit Massnahmen in der Bestockung die Stabilität des Bestandes z.B. gegenüber Wind, Schneedruck gefördert werden. Im Weiteren wird angenommen, dass der Zustand der Bestockung auch einen Einfluss auf die Hangstabilität ausübt.

Hypothese 1: Unter sonst gleichen Bedingungen bezüglich Eintrag und Gerinne liefern Bestockungen mit tiefem Vorrat, stufiger Struktur bzw. hoher Stabilität und hohem Laubholzanteil kleinere Totholzmengen in ein Gerinne.

Begründung: a) bei tiefem Vorrat und gleich bleibender Intensität aller Eintragsprozesse (Wind, Schneedruck, Lawinen, Ufererosion, Ufer- und Hangrutschungen) gelangt weniger Holz in das Gerinne; sowohl während eines Unwetterereignisses mit Hochwasserabfluss und Ufererosion als auch in Zeiten ohne Hochwasserabfluss. Allerdings: bei zu tiefem Vorrat (lückige Bestände) ist mit häufigeren und intensiveren geomorphologischen Eintragsprozessen zu rechnen! b) stufige Struktur fördert die Stabilität gegenüber den Eintragsprozessen Wind und Schneedruck sowie Hang- und Uferrutschungen. c) hoher Laubholzanteil ist mehrheitlich verbunden mit einem geringeren Vorrat, mit tendenziell besserer Stabilität und einem schnelleren Holzabbau (kürzere Verweildauer).

Hypothese 2: je intensiver die Eintragsprozesse, umso grösser das Holzvolumen im Abflussbereich (bei vergleichbarem Vorrat pro Fläche).

Begründung: die Eintragsprozesse Ufererosion, Rutschungen, aktive Seitenrinnen, Lawinen, Schneegleiten transportieren Holz (stehendes oder liegendes Totholz) vom Bestand in den Bachlauf. Fehlen diese Prozesse, so gelangt nur Holz in den Bach, welches beispielsweise infolge Schneedruck und Wind direkt in den Abflussbereich fällt. Ohne Eintragsprozesse kommen weniger Bäume zu Fall und die "beitragende Fläche" ist wesentlich kleiner.

2 Grundlagen

2.1 Begriffe

Für Holz im Bereich von Gewässern kommen verschiedene Begriffe zur Anwendung (Rimböck 2003, Rickenmann 1997):

- *Totholz*: abgestorbenes Holz (stehend oder liegend; ganze Bäume, Stammstücke mit oder ohne Stock, Äste, etc.), welches sich im Bachbett oder im angrenzenden Wald befindet.
- *Schwemmholtz*: lebendes oder totes Holz, das vom Wasser mit- oder angeschwemmt wird.
- *Treibholz*: wie "Schwemmholtz"; oft verwendet im Zusammenhang mit der Flösserei oder mit dem Rechengut bei Wasserkraftwerken sowie in Seen.
- *Wildholz*: wie "Schwemmholtz"; oft verwendet in Österreich und Deutschland.
- *Lawinenholz*: Holz, das durch Lawinenniedergänge in das Bachbett gelangt.
- *Nutzholz/Wirtschaftsholz*: Holz aus Holzlagern oder forstlich genutztes Holz.
- *Unholz/Schadholz*: wie "Schwemmholtz"; oft verwendet im Zusammenhang mit Unwetterereignissen. D.h. Holz, das durch seine Lage oder Verfrachtung negative Auswirkungen auf die Umgebung zur Folge hat.

Der Begriff "Schwemmholtz" ist in der schweizerischen Fachliteratur am gebräuchlichsten. Er wird im Rahmen des vorliegenden Projektes für Holz verwendet, welches sich im Hochwasser-Abflussbereich des betreffenden Wildbaches befindet und somit bei extremen Abflüssen leicht transportiert werden kann. Weiter wird auch der Begriff "potentielles Schwemmholtz" verwendet. Er steht für Holz (stehend oder liegend, lebend oder tot), das sich zwar noch nicht im Abflussbereich befindet, im Fall von Extremereignissen aber durch Ufererosion oder durch andere Eintragsprozesse aus den angrenzenden Einhängen in den Abflussbereich gelangen und weitertransportiert werden kann.

2.2 Stand der Kenntnisse

2.2.1 Einfluss von Totholz auf Gerinnemorphologie und Ökologie

Holz wirkt sich in verschiedener Hinsicht auf die Fliessgewässer aus. Die entsprechende Literatur – namentlich zum Einfluss auf die Ökologie und Morphologie der Gewässer – ist umfangreich (z.B. Eckert et al. 1996, Kail 2005, Montgomery und Piégay 2003, Piégay 2003, Tockner 2003). Die Auswirkungen von Holz können wie folgt zusammengefasst werden:

- *Morphologie des Gerinnes*: Sehr viele Untersuchungen zeigen, dass Holz in Fliessgewässern ein entscheidendes morphologisches Gestaltungselement ist. Holzstücke wirken als Rauigkeitselemente. Dadurch werden kleinere und grössere Stufen mit Geschiebeablagerungen und Kolken gebildet. Es erfolgt ein erhöhter Sedimentrückhalt und bei kleineren und mittleren Abflüssen eine erhöhte Stabilität der Sohle. Holz kann zudem Richtungsänderungen des Abflusses bewirken. Durch Ablenkung des Abflusses kann

Ufererosion erfolgen. Grosse Holzstücke, welche entlang des Ufers abgelagert wurden, schützen hingegen das Ufer vor Erosion.

- *Hydrologie und Hydraulik:* Die Abtreppung des Längenprofils und allgemein die vergrösserte morphologische Vielfalt durch Holz bewirkten einen erhöhten hydraulischen Widerstand bzw. stärkere Energieumwandlung. Die Transportkapazität wird insgesamt vermindert. Der Abfluss wird variabler, jedoch insgesamt verlangsamt. Grössere Wasserretention und vermehrte Stillwasserbereiche sind die Folgen.
- *Ökologie:* Holz in Fliessgewässern fördert einerseits durch die vergrösserte morphologische Variabilität den Rückhalt an organischem Material sowie die Selbstreinigung des Gewässers. Andererseits erhöht Holz die Lebensraumvielfalt für viele aquatische und an Land lebende Organismen. Es dient nicht nur als Versteck und Ruheplatz, sondern auch als Refugium – sowohl während Hochwasser- als auch während Trockenperioden. Die Auswirkungen auf die Ökologie sind umso geringer, je steiler und gebirgiger die Gerinne sind und je häufiger Extremereignisse stattfinden.
- *Stabilität:* Holz im Gerinne dient bis zu einer gewissen Abflussbelastung als "natürliche Verbauung" und fördert somit die Stabilität der Gerinnesohle. Übersteigt der Abfluss den Grenzwert, ist jedoch durch die Holzverfrachtung mit Problemen zu rechnen.

Die oben erwähnten Wirkungen von Holz in Fliessgewässern wurden bisher zum grössten Teil anhand von grösseren Gewässern untersucht und stammen mehrheitlich aus dem nordamerikanischen Raum. Für kleinere, steile europäische Gewässer wie beispielsweise unsere Wildbäche existiert wenig Literatur.

2.2.2 Wirkungen der Vegetation im Uferbereich

Die Vegetation im Uferbereich übt aus Sicht der Gefahrensituation sowohl positive wie auch negative Wirkungen aus (Consécru 1996, Jäggi und Kuster 1991). Einerseits wird durch die Bestockung die Abflussgeschwindigkeit und die Ufererosion reduziert. Zudem kann je nach Situation (z.B. Auenwald) Schwemmholz durch die Vegetation ausgekämmt werden. Andererseits wird durch die verminderte Abflussgeschwindigkeit der Hochwasserspiegel erhöht und die Bestockung liefert bei Erosion Schwemmholz.

2.2.3 Entstehung von Totholz - Totholzmengen

Totholz entsteht im Wald in erster Linie durch zufällige, singuläre Ereignisse (Sturm, Erdrutsche, Schneeburk, Insektenbefall), Konkurrenz zwischen den Bäumen und durch den natürlichen Alterungsprozess. In einem Naturwald verändert sich die Totholzmenge je nach Entwicklungsphase, d.h. viel Totholz entsteht vor allem in der Zerfalls- und Verjüngungsphase (Eckert et al. 1996). Totholz kann direkt in ein Gerinne fallen oder zusammen mit lebendem Holz durch unterschiedliche Prozesse in das Gerinne eingetragen werden.

Gemäss LFI2 (Brassel und Brändli 1999) betrug die Totholzmenge im Schweizer Wald zum Zeitpunkt der Aufnahmen 1993-1995 im Durchschnitt $12 \text{ m}^3/\text{ha}$ ($5 \text{ m}^3/\text{ha}$ im Mittelland, $20 \text{ m}^3/\text{ha}$ in den Alpen). Ungefähr 60 % des Totholzes entfallen auf stehendes Holz (Dürrständer). Erste Schätzungen im Zusammenhang mit dem dritten Landesforstinventar lauten auf $29 \text{ m}^3/\text{ha}$ im Jura und $24 \text{ m}^3/\text{ha}$ im Mittelland (Böhl und Brändli, accepted). In Waldreservaten oder in seit Jahrzehnten nicht mehr durchforsteten Beständen liegt der Totholzvorrat bei $40 - 80 \text{ m}^3/\text{ha}$. In eigentlichen Urwäldern (vor allem Osteuropa) finden sich auch Holzmengen von $100 - 200 \text{ m}^3/\text{ha}$, lokal auch $400 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Suter und Schielly 1998). Weitere Angaben zur Totholzdynamik und zu Totholzmengen sind in Müller-Using und Bartsch (2003) zu finden. In bachnahen Beständen ist allgemein mit überdurchschnittlich viel Totholz zu rechnen, da dort die Bestockungen nicht gut zugänglich sind und die Holznutzung seit Jahren nicht mehr rentiert. Die Ergebnisse von Totholzinventuren sind allgemein nur schwer untereinander ver-

gleichbar, da sich die Erhebungsmethoden und die Erhebungskriterien teilweise erheblich unterscheiden.

2.2.4 Eintrag von Holz in den Bach

Die Schwemmholtmenge in einem bestimmten Gewässerabschnitt ist ein Produkt aus 1) den Gerinnetransport-Prozessen (Eintrag und Austrag von Holz in, resp. aus dem betrachteten Abschnitt durch den Abfluss), 2) dem Holzpotential entlang des Ufers und in den Einhängen sowie 3) den stattfindenden Eintragsprozessen (Holzlieferung von den Einhängen in das Gerinne). Zu den Eintragsprozessen gehören:

- *Ufererosion/Uferrutschungen:* Durch die Schleppspannung des Abflusses finden Erosionsprozesse entlang der Ufer statt (Erosion: Abtrag von Bodenmaterial Korn für Korn). Bäume, die in der Nähe der Uferlinie stehen, können dadurch destabilisiert werden und fallen schliesslich in das Gerinne (Abb. 2.1). Wird durch die Ufer- oder Seitenerosion der Fuss eines Einhanges destabilisiert, kann eine Uferrutschung entstehen (Rutschung: paketweises Abrutschen). Zusammen mit dem abrutschenden Bodenmaterial gelangt auf der entsprechenden Fläche stehendes oder liegendes Holz in den Abflussbereich. Der Eintrag durch Ufererosion und Uferrutschungen erfolgt primär im Verlauf von Hochwasserereignissen. Voraussetzung für Uferrutschungen ist ausreichende Hangneigung.
- *Windwurf:* Durch Starkwind können Bäume instabil werden und in das Gerinne fallen (Windwurf) oder sie können Stammbruch erleiden (Windbruch), wobei nur der obere Baumteil ins Gerinne gelangt und der untere Teil mit dem Stock an Ort und Stelle verbleibt. Auch Bäume, welche mehr als eine Baumlänge Abstand zum Ufer haben, gehören zum Einflussbereich, da sie näher am Ufer stehende Bäume umdrücken können (Dominoeffekt).
- *Schneedruck:* Schneedruck ist häufig ein Problem in mittleren Höhenlagen bei Nassschneesituationen und teilweise im Frühjahr oder Herbst bei Laubbäumen in belaubtem Zustand. Dabei werden in der Regel kleinere, manchmal auch grosse Bäume durch die Schneelast umgedrückt oder gebrochen. Bei grösseren Bäumen (vor allem Laubholz) werden auch Kronenteile abgebrochen. Teilweise können auch durch Eisanhang Kronenteile abbrechen.
- *Hangrutschungen, Hangmuren, aktive Seitenrinnen:* Im vorliegenden Projekt werden Rutschungen in den Einhängen, welche nicht durch Ufererosion ausgelöst werden, als Hangrutschungen bezeichnet. Bei hoher Wassersättigung und in steilen Gebieten fliesst das Bodenmaterial oft in Form von Hangmuren hangabwärts. Stehendes oder liegendes Holz, das sich auf der entsprechenden Rutschfläche sowie im Bereich der Transitstrecke befindet, kann dabei mittransportiert werden und gelangt dabei möglicherweise in das Gerinne. Holz in steilen Seitenrinnen wird meistens durch murgangartige Prozesse in das Gerinne transportiert. Das Auftreten von Hangrutschungen und die Aktivierung von Seitenrinnen kann, muss aber nicht mit dem Zeitpunkt von Hochwasserereignissen im entsprechenden Bach übereinstimmen.
- *Lawinen und Schneegleiten:* Mit Waldschadenlawinen können zum Teil grosse Holzmengen in Fliessgewässer gelangen. Dies zeigte sich insbesondere auch im Lawinenwinter 1999 (SLF 2000). In der Regel werden diese Holzmengen lokal konzentriert abgelagert. In den obersten, sehr steilen Bereichen von Wildbächen kann Holz sowohl mit Lawinen als auch durch Murgang oder Hochwasser im Gerinne talwärts transportiert werden. Durch Schneegleiten wird liegendes Holz im Hang kontinuierlich und in eher geringem Ausmass (kleinere Bäume und Stücke) in das Gerinne transportiert.

Die massgebenden Eintragsprozesse variieren stark von Wildbach zu Wildbach. Die Beurteilung der vorherrschenden Eintragsprozesse ist grundlegend. Der Eintrag von Holz in das Gerinne durch die verschiedenen Eintragsprozesse und der Transport im Gerinne fallen zeit-

lich häufig nicht zusammen. Dies ist vor allem bei Eintrag durch Schneedruck, Lawinen und Windwurf der Fall (Abb. 1.1). Zusätzlich zu den geomorphologischen Prozessen wird Holz auch durch Holzereiarbeiten (Gewässerunterhalt, Pflege- und Verjüngungsmassnahmen ufernahe Bestockung) eingetragen. Im Weiteren können bei Hochwassereignissen manchmal auch Holzlager auf Uferböschungen (Bänziger 1990) oder Holz von Verbauungen in den Einhängen und an den Ufern (BAFU, in Vorber.) in den Abfluss gelangen.



Abb. 2.1 Eintragsprozesse im Uferbereich eines Wildbaches.

2.2.5 Schwemmholt-Potentiale

Das gesamte Holzvolumen, welches zum Beobachtungszeitpunkt im Abflussbereich liegt oder potentiell mittels Eintragsprozessen in das Gerinne gelangen kann, wird nachfolgend verschiedenen Schwemmholtpotentialen zugeordnet:

- *Holz im Hochwasser-Abflussbereich*: wird mit grosser Wahrscheinlichkeit bei einem extremen Hochwasser transportiert. Aussagen zum Transportverhalten (Transportdistanz) sind jedoch schwierig.
- *Stehende Bäume in unmittelbarer Nähe zum Abfluss*: diese sind stark gefährdet durch die Ufererosion. Wie viele der Bäume, die direkt am Ufer stehen, bei einem Hochwasserereignis in den Abfluss gelangen, ist schwierig zu prognostizieren.
- *Stehendes und liegendes, lebendes und totes Holz im Bestand*: gelangt durch verschiedene Eintragsprozesse (siehe oben) in den Abflussbereich. Der Eintrag von Holz in das Gerinne durch die verschiedenen Eintragsprozesse und der Transport im Gerinne fallen zeitlich häufig nicht zusammen; je länger der Abstand zwischen zwei Extremereignissen, desto grösser die Akkumulation von Holz im Bachbett.

Das Ausmass der verschiedenen Potentiale resp. Holzvolumen variiert von Bach zu Bach markant. Zum Schwemmholt im Abflussbereich sind verschiedene Untersuchungen bekannt. Kail (2005) fasst die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zusammen und gibt für 29 Gewässerabschnitte in Deutschland, Österreich und Frankreich einen Rahmen von 0.15 bis 206 m³/100 m' an, mit einem Median von 1.7 m³/100 m'. Kaczka (2003) ermittelte in fünf Bächen in Polen und Deutschland Schwemmholtmengen von 1.6 bis 8.5 m³/100 m'. Für die allgemein grosse Variabilität der beobachteten Schwemmholtmengen werden Unterschiede verantwortlich gemacht in Bezug auf die:

- Produktivität der Bestockung
- Aktivität der Eintragsprozesse
- Aktivität der Gerinneprozesse
- Abbaugeschwindigkeit (Dauerhaftigkeit) des Holzes

In Kail (2005) sind weitere Angaben zu Schwemmholt in Fliessgewässern verschiedener Gebiete der USA, Neuseeland, Australien, Spanien und England aufgeführt. In der Schweiz gibt es nur wenig Zahlenmaterial. Bänziger (1989) ermittelte bei Erhebungen in Wildbächen des Oberwallis Schwemmholtmengen von ca. 6 bis 10 m³/100 m'. In Bächen, welche durch die Hochwasserereignisse 1987 ausgeräumt wurden, betrug die Holzmenge nur noch 0.5 bis 2 m³/100 m'. Weitere Angaben zu Schwemmholt in einzelnen Bachabschnitten finden sich in Hutter (2002) und Kamm (2005).

Um das Holzpotential entlang der Gerinne sowie aus den Einhängen abzuschätzen, werden oft Angaben über Hektarvorräte aus forstlichen Inventuren verwendet und mit den erwarteten Eintragsflächen multipliziert (Bänziger 1989, Consécrus 1996, Duwaplan 1999). Dabei ist jedoch unsicher, inwiefern sich die bachnahen Bestockungen von den bachfernen unterscheiden. Zum Totholz (stehend und liegend) in den oft steilen und unzugänglichen Einhängen von Wildbächen sind nur wenig Angaben vorhanden (vgl. Angaben in Kap. 2.2.3).

Verschiedene Ansätze wurden entwickelt, um die Schwemmholtmengen in Fliessgewässern über längere Zeiträume zu modellieren (Benda und Sias 2003, Bragg et al. 2000).

2.2.6 Transport von Holz in Fliessgewässern

Der Transport von Schwemmholt ist abhängig vom Gerinneprozess. Bei Murgängen wird in der Regel ein sehr grosser Teil des gesamten, im Abflussbereich liegenden Holzes verlagert. Bei Hochwasserabfluss mit Geschiebetransport wird Holz in Bewegung gesetzt, sobald ein minimaler Abfluss erreicht wird. Nach Rimböck (2003) sind die wesentlichen Prozesse beim Transportbeginn von frei im Bach liegendem Totholz 1) das Aufschwimmen (ab einer minimalen Abflusstiefe schwimmt das Holz auf und wird von der Strömung mitgeführt), 2) das Rutschen (Reibung wird kleiner als Strömungs- und Hangabtriebskraft) und 3) das Anstossen (Reibung wird durch Anprallkräfte überwunden).

Modellversuche zeigen, dass die Mobilisierung von liegendem Holz in grösseren Gewässern (Breite > Stücklänge) eine Funktion des Winkels zwischen Fliessrichtung und Stückachse, der Stückrauhigkeit (mit oder ohne Stock und Ästen), der Sohlenrauhigkeit, der Holzdichte sowie des Verhältnisses zwischen Stückdurchmesser und Abflusshöhe ist (Braudrick und Grant 2000, Bezzola et al. 2002). Weitere Untersuchungen zum Transportverhalten von Schwemmholt führten Haga et al. (2002) durch. Die aus diesen Versuchen abgeleiteten Modelle sind jedoch für Wildbäche nur eingeschränkt anwendbar, da bei grossen Sohlenrauhigkeiten oft auch eine Verkeilung des Holzes auftritt. Zudem nimmt in kleineren Gewässern das Verhältnis zwischen Stücklänge und Sohlenbreite zu und damit die Wahrscheinlichkeit, dass nicht mehr das gesamte Stück in der Strömung liegt.

Ist das Holz einmal in Bewegung, richtet es sich (sofern Stücklänge < Bachbreite) mit seiner Längsachse parallel zur Fließrichtung aus und schwimmt tendenziell in der Gewässermitte. Die Ablagerung erfolgt dort, wo die Abflusstiefe zu gering wird (d.h. häufig bei Gewässeraufweitungen oder -aufteilungen), an Aussenseiten von Kurven und wo die Rauigkeit zunimmt (Baudrick und Grant 2001). Wird die Gewässerbreite kleiner als die Stücklänge, steigt die Gefahr von Verklausungen erheblich.

2.3 Schwemmholt und Naturereignisse

2.3.1 Allgemeines

Wie oben erwähnt, gehört Schwemmholt zu jedem natürlichen Gewässer und übt oft wichtige Funktionen im Zusammenhang mit der Ökologie aus. Deshalb sollte nur so wenig als möglich in das natürliche System eingegriffen werden (z.B. Schwemmholtzentnahmen). Allerdings ergeben sich bei Hochwasserereignissen erhebliche Probleme durch Schwemmholt. Grundsätzlich bestehen dabei folgende Möglichkeiten zur Problemlösung (Bezzola und Lange 2003, Lange und Bezzola 2006, Hartlieb und Bezzola 2000, Rickenmann 1997, Bänziger 1990, Pieren und Handschin 2002):

- Schwemmholtrückhalt
- Reduktion des Schwemmholzaufkommens
- Entschärfung von Engstellen
- Massnahmen zur schadlosen Weiterleitung

2.3.2 Ereignisse mit Schwemmholtproblemen

Schwemmholt verursacht im Fall von Hochwasserereignissen oft Probleme, namentlich durch Verklausungen von Brücken und Durchlässen mit der Folge von Überschwemmungen. Weitere Gefährdungsszenarien sind Schwallwellen infolge Bruch von Verklausungen oder der Anprall von Schwemmholt an Brücken oder ufernahen Gebäuden (Hartlieb und Bezzola 2000). Im Weiteren wird durch den Aufprall von Schwemmholt auf Uferböschungen die Erosion gefördert. Als besonders gefährlich werden Stämme mit Stöcken oder Stöcke erachtet. Heiniger (2003) publizierte einige Zahlen zu Schwemmholtmengen bei Unwetterereignissen. Nachfolgend werden einige ausgewählte grössere Ereignisse der letzten Jahre mit Schwemmholtproblemen in der Schweiz aufgeführt:

- 1977 und 1984: Verstopfen von Brücken in Wetzikon durch grosse Mengen Schwemmholt mit der Folge von Überschwemmungen mit grossen Schäden; beim Ereignis 1984 mehr als 10 Mio. Fr. Schadensumme (Hochstrasser 1997, Zeller und Röthlisberger 1985).
- 1987: Im Sommer 1987 richteten Hochwasser und Rüfen in den Schweizer Alpen katastrophale Schäden an. Dabei wurden grosse Mengen Schwemmholt verlagert. Verschiedene Fragen im Zusammenhang mit der Schwemmholtproblematik der Unwetter 1987 wurden untersucht (Bänziger 1990, Consécrue 1996).
- 1993: Schwemmholt verursacht an verschiedenen Wehren und Brücken im Oberwallis grosse Probleme mit Schadenfolgen. Im Zusammenhang mit den enormen Schäden in Brig durch die Saltina wird Schwemmholt zwar nicht als primäre Ursache beurteilt, war jedoch daran mitbeteiligt (Consécrue 1996, Hutter 2002).

- 1997: Geschiebe und Schwemmholtz führten zu massiven Überschwemmungen und Übersarungen in Sachseln und Umgebung. Die Schäden betragen über 100 Mio. Fr. (BWG 1998, Hess 1998).
- Unwetter 2002: Im Sommer und Herbst 2002 ereigneten sich in verschiedenen Regionen der Schweiz Unwetterereignisse: Napfgebiet (Juli), Appenzell (Ende August / Anfang September) und Surselva (November). Es kam an verschiedenen Orten zu erheblichem Schwemmholtztransport, zu Verklausungen und zur Verlegung von Brücken usw. mit nachfolgenden Gerinneausbrüchen (Sandri und Zwahlen 2004, Kamm 2005).
- 2005: Im August 2005 entstanden durch extreme Niederschläge in vielen Regionen der Schweiz grosse Schäden infolge Hochwasser und Rutschungen (Abb. 2.2). Schwemmholtz spielte an verschiedenen Orten eine wichtige, Schaden bringende Rolle (BAFU, in Vorber.). Die Schwemmholtzproblematik erhielt in den Medien grosse Beachtung. Im Rahmen der Ereignisanalyse 2005 sowie im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden ausgewählte Aspekte der Schwemmholtzproblematik untersucht (Schwemmholtzansammlungen an grösseren Gewässern, Schwemmholtzprozesse in Wildbacheinzugsgebieten). Bei einigen Schadenfällen der Ereignisse 2005 mit Beteiligung von Schwemmholtz wurden separate Dokumentationen und weitere Arbeiten erstellt (z.B. Ereignisdokumentationen der Kantone OW und NW, der Region Klosters-Serneus, Fischer 2006, etc.).



Abb. 2.2. Verklausung am Wehr des Kraftwerkes Perlen/Buchrain, LU im August 2005.

2.3.3 Abschätzung des Schwemmholtzanfalles

Die bei einem Extremereignis zu erwartende Schwemmholtzmenge kann 1) mittels Auswertung der bisher aufgetretenen Schwemmholtzmengen im betrachteten Einzugsgebiet, 2) anhand von empirischen Schätzformeln oder 3) durch eingehende Untersuchung des betrachteten Einzugsgebietes abgeschätzt werden (Hartlieb und Bezzola 2000). Zollinger (1983) erachtet Abschätzungen der Schwemmholtzmenge nicht als prioritär, da das Unannehme des Schwemmholzes in der Regel nicht die Menge, sondern die damit verbundenen Verklausungen sei. Im konkreten Fall genüge dabei ein einzelner Stamm oder wenige Äste, um eine Katastrophe auszulösen.

Abschätzung mittels beobachteten Ereignissen

Berichte zu den oben aufgeführten Ereignissen mit Schwemmholtproblemen enthalten Angaben zu transportierten Schwemmholtmengen. Ergänzend dazu sind beispielsweise in Zollinger (1983) weitere Zahlen publiziert: Schächen/UR (Ereignis von 1977) mit einer Fläche des Einzugsgebietes von 100 km²: 100-500 m³ Schwemmholt wurde transportiert und abgelagert; in der Melezza/TI (Ereignis von 1978) mit einer Einzugsgebietsfläche von 140 km²: 25'000 m³ Schwemmholt.

Abschätzung mittels empirischen Schätzformeln

Rickenmann (1997) analysierte Daten zum Schwemmholttransport verschiedener Ereignisse in der Schweiz und im Ausland (hauptsächlich Japan). Er leitete daraus empirische Schätzformeln ab mit dem Ziel, die ungefähre Größenordnung der bei einem Ereignis anfallenden Schwemmholtmenge abzuschätzen. Dabei wird die Schwemmholtmenge H (in m³) in Abhängigkeit der Größe des Einzugsgebietes EG (in km²) angegeben, wobei für A ungefähr A ≈ 45 eingesetzt werden kann.

$$H \approx A * EG^{2/3} \quad (1)$$

Neben der effektiven Verfrachtung von Schwemmholt bei Hochwasser betrachtet Rickenmann (1997) zusätzlich die Menge des potentiell mobilisierbaren Holzes, d.h. im Gerinne oder in den bachnahen Zonen herumliegendes Holz. Unter anderem publizierte er auch eine Beziehung, bei welcher das Schwemmholtpotential H (in m³) in Funktion der bewaldeten Gerinnelänge L_w (in km) berechnet wird. Für Gerinnelängen L_w < 20 km ergibt sich etwa folgende Abhängigkeit, wobei für die Konstante E etwa E ≈ 40 eingesetzt werden kann:

$$H \approx E * (L_w)^2 \quad (2)$$

Bei beiden Schätzformeln sind die Streuungen bei den Ausgangsdaten insbesondere bei kleineren Einzugsgebieten gross und die Datensätze sind wenig umfangreich. Zudem besteht bei der Abschätzung der Schwemmholtmenge eine Unsicherheit in Bezug auf die Eintretenswahrscheinlichkeit und Prozessart (Murgang, Abfluss) des entsprechenden Transportprozesses, für welchen der Schwemmholtzanfall abgeschätzt werden soll. In Rimböck (2003) ist eine Zusammenstellung weiterer empirischer Schätzformeln zu finden.

Abschätzung mittels Untersuchung des Einzugsgebietes

Wesentlich aufwändiger als die Anwendung von Schätzformeln ist die Abschätzung aufgrund der Beurteilung der konkreten Verhältnisse im entsprechenden Gebiet. Die zum Abtransport bereitliegende Schwemmholtmenge ist abhängig von den Gerinnetransport-Prozessen, dem Holzpotential entlang des Ufers und in den Einhängen sowie von den stattfindenden Eintragsprozessen. Deshalb sind bei einer Untersuchung des Einzugsgebietes Aspekte wie der Waldzustand und Erosionsprozesse zu berücksichtigen.

Consécru (1996) und Duwaplan (1999) wenden ähnliche Vorgehensweisen für die Abschätzung von der Schwemmholtmenge an. Sie basieren auf einer abschnittsweisen Beurteilung des möglichen Schwemmholtzeintrages in Abhängigkeit des Querprofiltyps und der Vegetation im entsprechenden Abschnitt. Rimböck und Strobl (2001) zeigen einen im Grundsatz vergleichbaren Weg auf, indem sie für jeden Eintragsmechanismus (Lawinen, Rutschungen, Erosion, usw.) so genannte relevante Gefährdungsflächen ermitteln. Mit einem geschätzten Holzvorrat (m³/ha) pro Gefährdungsfläche und einem Faktor für die Gefährdungsintensität wird für jede Gefährdungsfläche ein Teilpotential ermittelt. Die Summe aller Teilpotentiale über alle Gefährdungsflächen ergibt das Gesamtpotential. Systematische Vorgehensweisen bei der Beurteilung der Eintragsprozesse (Frick et al. 2004) stellen wertvolle Hilfsmittel zur Abschätzung des Schwemmholtpotentials dar.

2.3.4 Schutzbauwerke

Die technische Bewältigung von Schwemmholtproblemen umfasst namentlich Bauwerke zum Schwemmholtzrückhalt sowie zur Trennung von Schwemmholtz und Geschiebe. Zum Thema Schwemmholt im Zusammenhang mit Geschiebesammlern führte Zollinger (1983) verschiedene Untersuchungen und Modellversuche durch. Die Möglichkeiten zum Schwemmholtzrückhalt bzw. zur Trennung von Holz und Geschiebe sind in Lange und Bezzola (2006) und Bezzola (2001) zusammengefasst. Dazu gehören: Balkensperren, Sortierwerke, Treibholzfänge (V-förmige, stehende Rechen), Schwemmholtznetze, Rechenkonstruktionen in Geschiebesammlern (Abb. 2.3) und selektiver Schwemmholtzrückhalt. Betreffend Literatur zu baulichen Massnahmen sollen zudem beispielhaft die Arbeiten von Uchiogi et al. (1996) zu verschiedenen Varianten von starren Auffangstrukturen für Schwemmholtz erwähnt werden; Loipersberger et al. (2000) publizierten zu Netzkonstruktionen und Hochstrasser (1997) zum System der V-förmigen Treibholzfänge.



Abb. 2.3: Schwemmholtzrechen im Dorfbach bei Sachseln, OW (Foto P. Waldner, WSL)

2.4 Ufervegetation und Schwemmholtzvorkommen

Nach Kail (2005) ist die Schwemmholtzmenge im Bach abhängig von:

- der Produktivität des Waldes (Bestandesdynamik, Waldflege, Mortalität, Borkenkäfer)
- den Eintragsprozessen (Ufererosion, Windwurf, Rutschungen, Lawinen, Oberwasser-Eintrag)
- den Austragsprozessen (Brechen, Abrasion, Wegtransport, Holzabbau).

Verschiedene dieser Parameter sind abhängig vom Zustand der Ufervegetation. Sie wirken sich einerseits unmittelbar auf die Schwemmholtzmenge im Bach aus (z.B. Bestandesdynamik), andererseits mittelbar über die Wirkung der Vegetation auf die Aktivität der Eintragsprozesse (z.B. Rutschungen und Erosion). Qualitative Angaben dazu machen Eckert et al.

(1996) und Hering et al. (2000). Quantitative Angaben zum Einfluss dieser Parameter sind aus dem europäischen Raum kaum bekannt.

In mehreren Studien wird der Einfluss der Holznutzung auf den Schwemmholtzanfall in Fliessgewässern beschrieben. So geben zum Beispiel Dahlström und Nilsson (2004) für Wälder mit forstlichen Eingriffen tiefere Schwemmholtzmengen an als in Wäldern in naturnahem Zustand. Verschiedene Untersuchungen haben die Entstehung von Totholz in Abhängigkeit von Holznutzung, Standorteigenschaften und Bestandescharakteristika zum Thema (Rubino und McCarthy 2003, Siitonen et al. 2000, Tinker und Knight 2001, Debeljak 2006, Hairston-Strang et al. 1998).

Im Zusammenhang mit Massnahmen bezüglich Schwemmholtz sind nach Piégay und Gurnell (1997) verschiedene Kriterien zu berücksichtigen: 1) Erosion, Überschwemmung, Verwundbarkeit; 2) ökologische Aspekte, 3) ökonomische Kriterien. Die Autoren propagieren eine minimale Engriffstärke und begründen dies massgeblich mit der ökologischen Bedeutung des Schwemmholtzes im Gewässer und den erheblichen Kosten für die Entfernung von Holz aus dem Gerinne.

Innerhalb des Hochwasserschutzprojektes Consécru (1996) im Kanton Wallis wurde die Schwemmholtzproblematik als Teilprojekt bearbeitet. Dabei wurden für verschiedene Fallbeispiele der Schwemmholtzanfall abgeschätzt, Möglichkeiten zur Pflege der Uferbestockung dargestellt und die dabei anfallenden Kosten abgeschätzt. Weitere Hinweise zur Thematik des Einflusses von Pflegemassnahmen auf das Schwemmholtzvorkommen sind in Sandri und Zwahlen (2004) sowie in Romang (2004) zu finden.

Ausgehend von Fragen der forstlichen Praxis im Zusammenhang mit der Pflege von Uferbestockungen wurden in der Schweiz verschiedene Handlungsanleitungen und Vorgehensweisen erarbeitet. Dazu gehören die Publikationen "Nachhaltigkeit im Schutzwald" (BUWAL 2005), "Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald" (BUWAL 2000), das Kreisschreiben "minimale Schutzwaldpflege an Gerinneeinhängen" des Kantons Bern und die Vorstudie "Nachhaltiger Schutzwald entlang von Fliessgewässern" des Kantons Luzern.

3 Methoden

3.1 Methodischer Ansatz

Die Methodik baut auf der Annahme auf, dass das Ausmass von Schwemmholt in Wildbachgerinnen unter anderem abhängig ist von bestimmten Charakteristika der Ufervegetation und der Bestockung der Einhänge. Die in Kapitel 1.4 formulierten Hypothesen wurden an insgesamt zehn Wildbächen überprüft. Dabei wurde einerseits das Schwemmholtvorkommen im Hochwasserbereich abschnittsweise erfasst und andererseits die entsprechende Uferbestockung charakterisiert. Weitere Aspekte wie die Intensität der Eintragsprozesse, die Gerinne-Transportkapazität, die Ereignishäufigkeit und -stärke sowie allfällige Unterhaltsmaßnahmen im Gerinne mussten für jeden Bach im Felde erfasst und bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

3.2 Erhebungen

3.2.1 Allgemeines

In den für die Untersuchung geeigneten Wildbächen wurde ein Abschnitt von 1 km Länge ausgewählt. Dieser Abschnitt wurde vermessen, kartiert und bezüglich der Hochwasser-, Geschiebe- und Schwemmholtzsituation beurteilt. Weiter wurde das in den Gerinnen und in den Einhängen liegende Totholz bzw. Schwemmholtzpottential erfasst und die Relevanz der verschiedenen Eintrags-Prozesse von Holz in die Gerinne (Erosion, Rutschungen, Windwurf, Schneedruck und Lawinen) abgeschätzt. Schliesslich erfolgte eine detaillierte Charakterisierung der gerinnennahen Bestockungen mit Informationen zur bisherigen Behandlung. Es ergeben sich somit die folgenden Erhebungen (Abb. 3.1, Aufnahmeanleitung im Anhang):

- Gerinnevermessung (Situation, Längsneigungen, Querprofile), Hangprofile
- Beurteilung der Gerinne und Hangprozesse
- Schwemmholtzinventur im Hochwasser-Abflussbereich
- Erhebungen zur Bestockung auf einem Uferstreifen von 1 m
- Erhebungen zur Bestockung und dem Totholz im Bestand (Kreisstichproben)
- Qualitative Bestandesbeschreibung

Die Erhebungen wurden in den Jahren 2004 (Brüggenwaldbach, Steinibach, Seeblibach und Ibach), 2005 (Büetschligraben, Steiglebach, Grossbach) und 2006 (Chreuelbach, Geissbach und Ursprung) durchgeführt. Für die Abschätzung der Schwemmholtzprozesse während der Unwetter vom August 2005 fand im Herbst 2005 zudem eine Folgearbeitung und Neubeurteilung in vier Bächen statt (Brüggenwaldbach, Steinibach, Seeblibach und Büetschligraben).

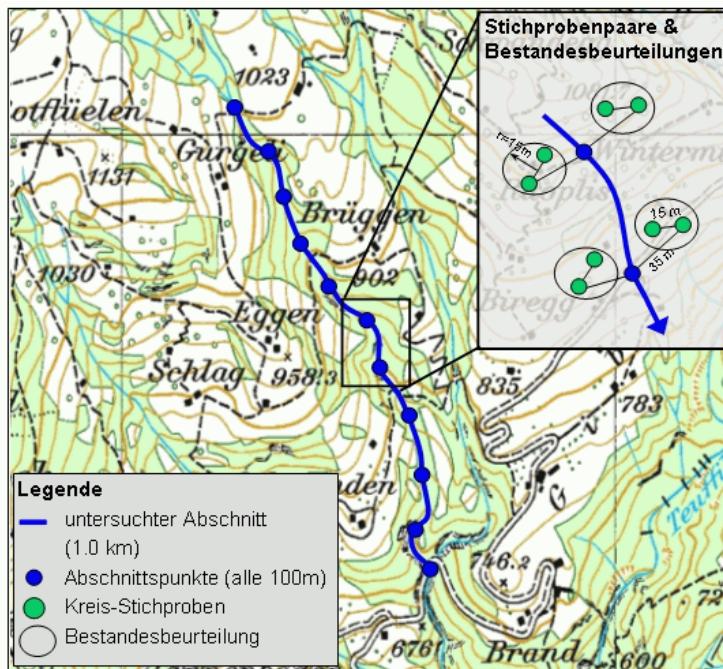


Abb. 3.1: Methoden und Erhebungen im Projekt "Schwemmholz". Untersuchungsobjekte: insgesamt 10 Wildbäche (Abb. 3.2 und Tab. 3.1). Erhebungen in definiertem 1 km- Abschnitt: 1) Vermessung/Prozessbeurteilung Bach und Einhänge, 2) Inventur Schwemmholz im Bach, 3) Inventur Uferbäume, 4) Bestockung (Kreis-Stichproben, qualitative Bestandesbeurteilungen), 5) Totholz im Bestand (Kreis-Stichproben).

3.2.2 Vermessung des Bachlaufes, Quer- und Hangprofile

Der zu untersuchende Abschnitt wurde so festgelegt, dass ein Schwemmholztransport durch Hochwasser oder Murgang von oben in den betreffenden Abschnitt hinein unwahrscheinlich ist. Nachdem der Anfangs- bzw. Endpunkt des zu untersuchenden Gerinneabschnittes festgelegt war, wurde der Bachlauf in Bezug auf die Situation und das Längenprofil vermessen (vgl. Formular A im Anhang). Dabei erfolgte eine Unterteilung des Baches in Abschnitte zu 100 m (Abb. 3.1). Die Distanzmessungen erfolgten mit dem Messband bzw. Laser-Distanzmessgerät (Leica DISTO™ classic⁵ a), die Neigungen mit dem Clisimeter Meridian bzw. Suunto und die Horizontalwinkel mit der Bussole Meridian. Die Anfangs- und Endpunkte der Abschnitte wurden im Gerinne markiert und an den Ufern dauerhaft versichert.

Bei jedem Gerinnepunkt (11 pro Bach, Anfang resp. Ende der 100 m – Abschnitte) wurde im Hochwasserbereich ein Querprofil vermessen sowie beidseitig ein Hangprofil erhoben. Das Querprofil wurde rechtwinklig zum Bachverlauf durch den Gerinnepunkt beidseitig bis zur Hochwasserabflusslinie vermessen (Staffelmessung). Das Hangprofil wurde anschliessend an das Querprofil ab Hochwasserabflusslinie in der Hangfalllinie bis zur Kreisstichprobe A (vgl. Kap. 3.3.6), d.h. auf einer schießen Länge von 35 m erfasst (Messung von schiefer Distanz und Neigung). Diese Distanz entspricht ungefähr einer Baumlänge.

3.2.3 Gerinne- und Hangprozesse

Für jeden 100 m - Bachabschnitt wurden verschiedene Eigenschaften und Prozesse beschrieben. Dazu gehören:

- Sohlenbeschaffenheit: Fels, Lockergestein, Korngrösse

-
- geomorphologische Prozesse: Tiefen- und Seitenerosion, Umlagerung, Ablagerung, Uferrutschungen, Hangrutschungen
 - Hindernisse: Kunstbauten, Verklausungen, grobe Blöcke, Engstellen

3.2.4 Schwemmholt im Abflussbereich

Das Schwemmholt, welches im Abflussbereich des Baches liegt, kann im Fall von Hochwasserabfluss sofort und unmittelbar transportiert werden. In der internationalen Literatur wird bei Schwemmholtstudien oft die betroffene Fläche bei Hochwasserabfluss als Bezugsfläche verwendet. Die Schwemmholtmenge im Abflussbereich des Baches wird mittels Vollinventur erfasst. Erhebungen mit Stichprobenverfahren (z.B. Transektdurchqueren) wie sie in verschiedenen Totholzinventuren angewendet werden (z.B. Keller 2005), haben sich in Fließgewässern nicht bewährt.

Für jeden 100 m -Abschnitt wurden alle Schwemmholtstücke im Hochwasserprofil mit Mitten-durchmesser ≥ 10 cm und Länge ≥ 1.0 m erfasst; Stöcke auch kürzer als 1.0 m (Abb. 3.2). Diese Ausmasskriterien kommen bei den in der internationalen Literatur beschriebenen Untersuchungen häufig zur Anwendung (z.B. Kaczka 2003, Keller 1979, Lienkaemper 1986, Marcus 2002, Wallerstein und Thorne 2004). Sie definieren die Abgrenzung von grobem Schwemmholt zu feinem Schwemmholt. Zu jedem Schwemmholtstück wurden verschiedene Parameter erhoben (vgl. Aufnahmeanleitung im Anhang):

- Grösse: Länge L des Stückes (nur Teil mit Durchmesser $d \geq 0.07$ m), Mittendurchmesser (Durchmesser in der Mitte des Stückes bzw. in $L/2$). Volumen $V = L^*(1/2d)^2\pi$
- Holzzustand: drei Stufen (1, 2, 3) ermittelt aufgrund der Eindringtiefe eines Schraubenziehers (vgl. Aufnahmeanleitung im Anhang). Der Zustand soll einen Hinweis auf Verweildauer im Gerinne sowie auf die Festigkeit und damit auch auf die Gefährlichkeit geben. Die Art der Zustandsstufen wurde in Anlehnung an (Keller 2005) definiert, jedoch etwas verändert und vereinfacht.
- Stückart: Kronenteil, Stammteil, Stammtteil mit Stock, Stock, ganzer Baum
- Holzart: Nadel-, Laubholz, nicht bestimmbar. Es erfolgte nur eine makroskopische Zuordnung im Feld. Infolge Vermorschung und Fehlen der Rinde war dies teilweise nicht möglich.
- Eintrag: Dieser Parameter soll einen Hinweis darauf geben, durch welchen Prozess das Holz in den Bachlauf gelangte. Zur Auswahl standen: Ufererosion, Rutschung, Fall, Wind, nicht bestimmbar.
- Schnittstellen am Holzstück: Hinweis auf allfällige Unterhaltsarbeiten (Zusammensägen) im Bachbett bzw. auf Holzereiarbeiten in den ufernahen Bestockungen.
- Mobilität: mobil, immobil (bei ca. 10-jährlichem Abfluss)
- Wirkung auf den Abfluss bezüglich Längenprofil und / oder die Abflussrichtung

Bei Verklausungen wurden weitere Parameter erfasst. Als Verklausung wurden mindestens zwei Schwemmholtstücke im Verbund definiert, welche zusammen eine Wirkung auf das Längenprofil und/oder die Situation ausüben. Zu den erhobenen Parametern gehören die Ausmasse, der Zustand, die Ursache, die Mobilität sowie die Wirkung.

Da nur Schwemmholtstücke innerhalb des Hochwasser-Abflussbereiches erfasst werden sollten, kam der Bestimmung der Hochwasser-Abflusslinie grosse Bedeutung zu. Für jeden untersuchten Bach musste deshalb eine Hochwasserabschätzung vorgenommen werden.

Diese erfolgte gemäss BWG (2003) mit der Software HAKESCH (für Einzugsgebiete < 10 km²). Dabei kommen folgende Formeln zur Anwendung: Müller modifiziert, Taubmann/Thiess/Chow, modifiziertes Fliesszeitverfahren, Kölla und Clark-WSL. Sowohl für das Querprofil am oberen als auch für jenes am unteren Ende des 1 km -Abschnittes wurde je eine 100-jährliche Hochwasserabflussmenge abgeschätzt.



Abb. 3.2: Vermessungsarbeiten bei der Schwemmholzinventur.

Damit an einem bestimmten Standort im Bachbett die Abflusslinie bestimmt werden konnte, musste für das entsprechende Querprofil die Fliessgeschwindigkeit abgeschätzt werden. Dies erfolgte im Rahmen des Projektes mit der Formel nach Strickler (beschrieben z.B. in Böll 1997). Für eine gegebene Abflussmenge, -geschwindigkeit und Querprofilabmessungen lässt sich die Hochwasser-Abflusslinie abschätzen.

3.2.5 Potential aus Ufererosion (Erhebung Uferbäume)

Bei Hochwasserabflüssen werden die Bachufer häufig destabilisiert. Durch die Schleppspannung des Abflusses kommt es häufig zu Ufer- bzw. Seitenerosion und als Folge davon zu Uferrutschungen. Unter dem Begriff Erosion wird dabei der Abtrag "Korn für Korn" verstanden, bei Rutschungen verläuft der Materialabtrag "paketweise". Durch diese Prozesse werden Bäume auf den unmittelbar betroffenen sowie den angrenzenden Flächen destabilisiert und fallen in die Gerinne.

Im Rahmen dieses Projektes wurde für jeden Bach der potentielle Eintrag durch Ufererosion im Falle eines Hochwasserereignisses abgeschätzt. Dabei wurde jedoch keine Kartierung der mutmasslich betroffenen Gebiete vorgenommen sondern ein schematisches Vorgehen angewendet. Ausgehend von der abgeschätzten Hochwasserabflusslinie wurde bei beiden Ufern ein Bereich von 1.0 m betrachtet. Bäume, deren Stammachsen weniger als 1.0 m von der Hochwasser-Abflusslinie entfernt sind, wurden zum Schwemmholzpotential infolge Ufererosion gezählt. Die Volumenermittlung erfolgte mittels LFI-Tarifsystem (Kaufmann 2000, Keller 1978).

3.2.6 Potential aus Bestand (Erhebung Bestand)

Die Eintragsprozesse Ufererosion, Uferrutschung, Hangrutschung, Windwurf, natürliche Mortalität, Schneedruck, Schneegleiten und Lawinen liefern Holz aus dem Bestand in das Gerinne. Bei gleich bleibender Aktivität der Eintragsprozesse ist der Schwemmholzeintrag abhängig von der Bestockung (z.B. Vorrat, Stabilität, etc.). Die Bestockung wurde einerseits mittels Stichprobenerhebung quantifiziert, andererseits erfolgt eine qualitative Bestandes- und Standortsbeschreibung.

Die in Kap. 3.3.2 erwähnten Gerinne-Abschnittspunkte dienten als Ausgangspunkt für die Analyse der ufernahen Bestockung. Bei jedem Abschnittspunkt, d.h. alle 100 m, wurden auf jeder Bachseite je zwei temporäre Stichprobenflächen mit Radius von 5.0 m eingemessen (insgesamt 44 pro Bach, Abb. 3.1). Aus topographischen Gründen konnten nur kleine Stichproben bearbeitet werden. Damit eine ausreichende Aussagekraft erreicht werden konnte, wurden zwei nahe beieinander liegende Stichproben ("Mini-Trakt") aufgenommen (Abb. 3.3). Im Mittel lagen die weiter vom Bach entfernten Stichprobenzentren 35 m (in Hangfalllinie), die näher am Ufer liegenden etwa 20 m von der Abflusslinie entfernt. Die so gewonnenen Daten charakterisieren also die ufernahe Bestockung bis zu einem Uferabstand von ein bis zwei Baumängen. Die Kreis-Stichproben dienen einerseits der Quantifizierung der lebenden, stehenden Bestockung sowie des stehenden und liegenden Totholzes (Kap. 3.3.7). Bei der lebenden Bestockung wurden Baumart und Brusthöhendurchmesser erhoben. Für die Berechnung des Stehend-Vorrates wurden LFI-Tarife verwendet (Kaufmann 2000, Keller 1978).



Abb. 3.3: Stichprobenerhebung zur Quantifizierung der Bestockung in den Einhängen.

3.2.7 Totholz im Bestand

Wie lebende Bäume gelangt auch stehendes und liegendes Totholz durch die gleichen Eintragsprozesse in den Bachlauf. Zu Inventurmethoden von Totholz in Beständen existieren

verschiedene Publikationen. Dabei werden für das liegende Totholz oft auch so genannte Transektverfahren beschrieben (z.B. Keller 2005). Das Abstecken von Transekten im steilen Gelände ist jedoch schwierig. Deshalb wurde auch für das Totholz im Bestand mit den oben erwähnten Stichprobenflächen gearbeitet: das stehende Totholz wurde analog der lebenden Bäume auf den Stichprobenflächen erfasst; liegendes Totholz wurde dann erhoben, wenn es die Fläche der Kreisstichprobe berührte. Zu jedem Holzstück wurden die Parameter Stückart, Holzart, Durchmesser, Länge und Zustand protokolliert.

3.2.8 Bestandesbeschreibung

Im Bereich um die beiden Kreisstichprobenflächen wurde für jede Bachseite je eine detailliertere qualitative Standorts- und Bestandesansprache ausgeführt (insgesamt 22 pro Bach). Dabei wurden Angaben gemacht zu den Verhältnissen am Standort (geomorphologische Prozesse auf der Fläche, Bodenparameter) zur Bestandestypologie (Gefüge, Mischungsart, -grad und –form, Kronenschluss), zur Bestandesstabilität (Schlankheitsgrad, Kronenlänge, Verankerung, Schiestand, Schäden) sowie zur Verjüngung (Baumarten, Vorkommen, Gefährdung, jeweils für Ansamung, Anwuchs und Aufwuchs).

3.2.9 Grundlagen pro Untersuchungsobjekt

Zu jedem der untersuchten Wildbäche werden verschiedene weitere Grundlagen zusammengetragen:

- Ereignischronik
- Hochwasserabschätzung, Beurteilung Murfähigkeit
- Beurteilung der Stabilität der Einhänge
- Angaben zur forstlichen Bewirtschaftung der Bacheinhänge

3.3 Untersuchungsobjekte

3.3.1 Auswahlkriterien

Die Auswahl der zu untersuchenden Wildbäche bzw. Bachabschnitte ist von zentraler Bedeutung für das Projekt. Gleichzeitig ist sie schwierig, mit grossem Aufwand verbunden und birgt die Gefahr, dass letztlich nicht nur nach rein objektiven Gesichtspunkten gewählt wird. Um die oben aufgeführten Forschungsfragen bearbeiten zu können, mussten Objekte mit unterschiedlichen Bestandescharakteristika ausgewählt werden. Sie sollten jedoch möglichst vergleichbar sein hinsichtlich der anderen wichtigen Einflussgrössen wie beispielsweise hinsichtlich der Topographie, der Eintragsprozesse und –aktivität etc. Folgende Aspekte gehörten zum Anforderungsprofil:

- Einzugsgebiets-, bzw. Gerinnegröße: Einzugsgebietsfläche ca. 1 bis max. 10 km². Grund: ausreichender Hochwasserabfluss, damit der Transport von Schwemmholz bei Hochwasser/Murgang im betreffenden Gerinne möglich ist.
- Waldfläche/Bewaldung: Einzugsgebiet mehrheitlich bewaldet, insbesondere entlang der Gerinne (mind. 2 Baumängen, d.h. 60 bis 80 m, angrenzend an die Gerinne).
- Topographie: steile Bacheinhänge, d.h. Eintragsprozesse wie oberflächennahe Rutschungen, aktive Seitenrinnen, Lawinen oder Schneegleiten sind möglich.

- Waldbauliche Behandlung: gesucht wurden Bäche mit möglichst einheitlicher Bestockung entlang des Abschnittes, d.h. mit geringer Variation in Bezug auf die wesentlichen Bestandesparameter. Zwischen den verschiedenen Bächen sollten jedoch - um die Projektfragen beantworten zu können - möglichst grosse Unterschiede bezüglich der Bestockung vorhanden sein. Allfällige Nutzungen und Pflegeeingriffe sollten möglichst mehr als 15 bis 20 Jahre zurück liegen. Dadurch wollte man gewährleisten, dass die aktuelle Schwemmholsituation ein Abbild der aktuellen Bestockung ist, so wie sie im Rahmen des Projektes erfasst wurde, und nicht ein Abbild eines früheren Zustandes.
- Gerinne und Schwemmhholz: seit längerer Zeit kein wesentlicher Gerinneunterhalt mit Entnahme oder Zusammensägen von Schwemmhholz; keine extremen Hochwasserereignisse, welche Schwemmhholz aus dem betrachteten Abschnitt abtransportiert haben.
- Erschliessung: keine Strassen und Maschinenwege entlang des Baches. Diese wirken sich auf das Schwemmholvorkommen in den Bächen dahin gehend aus, dass die Holzlieferung aus dem Bestand in den Bach durch Strassen oder Maschinenwege unterbrochen wird.

3.3.2 Ausgewählte Bäche

Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt 10 Wildbäche in den Kantonen Bern, Luzern, Schwyz, St. Gallen, Appenzell IR und Graubünden untersucht (Abb. 3.4, Tab. 3.1). Die Bäche befinden sich namentlich im Voralpen- und Alpenraum.

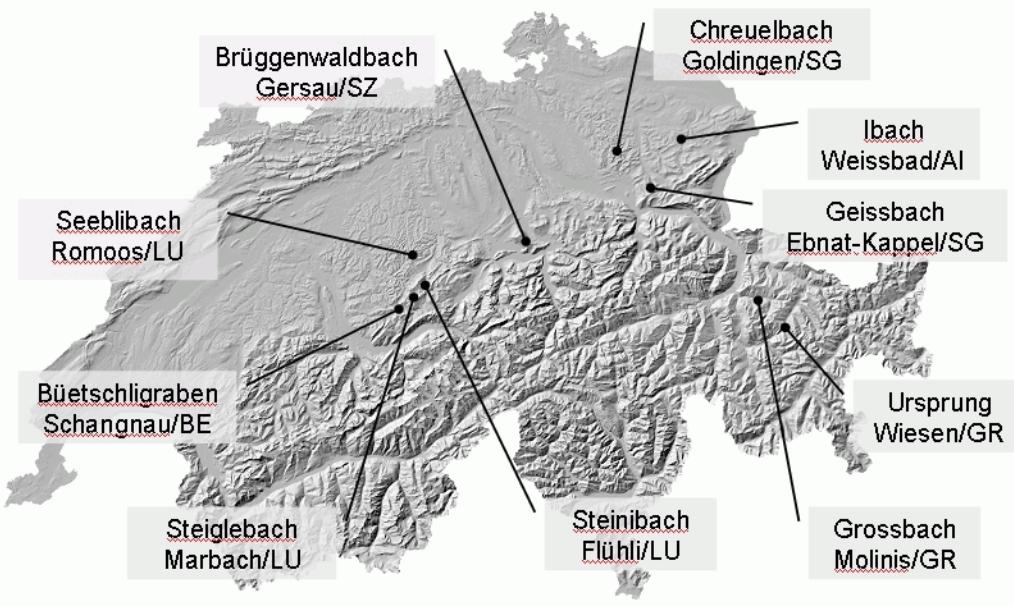


Abb. 3.4: Untersuchte Bäche; weitere Angaben dazu in Tab. 3.1.

In Tabelle 3.1 sind einige allgemeine Angaben zu den untersuchten Objekten zusammengestellt. Die Flächen der Einzugsgebiete betragen zwischen 0.8 und 3.0 km². Da es sich um kleine Einzugsgebiete handelt, wurden die Hochwasser-Abflusssmengen HQ₁₀₀ mit dem Programm HAKESCH abgeschätzt. Die Werte betragen zwischen 7 und 26 m³/s. Die Einzugsgebiete sind unterschiedlich stark bewaldet: von 17% bis 65%. Entlang des jeweils untersuchten Abschnittes von einem Kilometer sind jedoch alle Bachufer praktisch vollständig bestockt. Die Bäche unterscheiden sich zudem auch bezüglich weiteren Parametern wie z.B. der Bestockung der Einhänge, der Topographie, der Aktivität der Eintragsprozesse etc. Angaben dazu finden sich im Kapitel 4.

Die Bäche 7 und 10 befinden sich in den nördlichen Zwischenalpen und damit im Bereich der Tannen-Fichtenwälder und Fichtenwälder. Die übrigen Bäche liegen in den nördlichen Randalpen in der unter-obermontanen Höhenstufe; d.h. im Hauptverbreitungsgebiet der Buchen und Tannen-Buchewälder.

*Tab. 3.1: Angaben zu den Untersuchungsobjekten. *Abfluss: Reinwasser, abgeschätzt mit HAKESCH.*

Bach	Gemeinde	Einzugsgebiets (km^2)	Waldanteil (%)	Abfluss *) HQ100 (m^3/s)	Mittlere Höhe (m ü.M.)
1 Brüggenwaldbach	Gersau, SZ	0.81	33	11	840
2 Steinibach	Flühli, LU	1.49	17	14	1160
3 Seeblibach	Romoos, LU	1.16	47	9	950
4 Ibach	Weissbad, AI	1.64	26	26	880
5 Büetschligraben	Schangnau, BE	2.24	18	16	1040
6 Steiglebach	Marbach, LU	3.02	40	14	1180
7 Grossbach	Molinis, GR	2.40	38	15	1190
8 Chreuelbach	Goldingen SG	0.88	65	9	920
9 Geissbach	Ebnat-Kappel SG	1.63	45	17	1080
10 Ursprung	Wiesen GR	1.33	50	7	1610

3.3.3 Forstwirtschaftliche Nutzung

Eigentumsverhältnisse

Die Einzugsgebiete der Bäche 2, 3, 5 und 8 sind reine Privatwaldgebiete. Ausschliesslich öffentlicher Wald im Besitz von politischen Gemeinden, Orts- und Schulgemeinden und Korporationen befindet sich in den Objekten 7, 9 und 10. Die Wälder im Einzugsgebiet der Bäche 1, 4 und 6 sind zu 1/4 bis 2/3 öffentliche Wälder (Korporations- und Staatswald); der Rest der Wälder in diesen Einzugsgebieten ist in Privatbesitz (Tab. A.2.1 im Anhang).

Eingriffe, bisherige Bewirtschaftung

Die bisherige Bewirtschaftung hängt stark von der Erschliessung und von der Wirtschaftlichkeit der Holzproduktion der jeweiligen Waldgebiete ab. Dieser Zusammenhang trifft umso mehr zu, je höher der Anteil an Privatwald ist. Es erstaunt daher nicht, dass im betrachteten ufernahen Bereich der Bäche während der letzten 20 Jahre kaum eingegriffen worden ist. Hinweise auf weniger alte Eingriffe (vor 10 bis 20 Jahren) liegen aufgrund von Informationen der lokalen Förster nur in drei Bächen (3, 6 und 7) vor. Sie beschränken sich aber auf Entnahmen von Einzelbäumen oder auf kleine Zwangsnutzungen.

Waldschadenflächen mit oder ohne Zwangsnutzungen infolge Vivian, Lothar und Folgeschäden sind in den untersuchten Perimetern nur wenige vorhanden. Es sind dies eher kleinflächige und zerstreut vorkommende Schadflächen in Kuppen und Gratlagen in den Einzugsgebieten der Bäche 2, 6, 7 und 9. Aufforstungen kommen nur im Einzugsgebiet des Steiglenbaches vor, wobei dort die Waldfläche seit der 30er bis Mitte der 80er Jahre um ca. 70 Hektaren zunahm.

Ausserhalb der schwer zugänglichen Bacheinhänge wurde nach Vivian und Lothar im Rahmen der Nutzungsplanung eher zurückhaltend eingegriffen. Wenig bis gar nicht genutzt wurde im Privatwald. Einzig im Einzugsgebiet des Seeblibachs wurde in den 90er Jahren nach Vivian verstärkt eingegriffen, um die Struktur und die Stabilität der Bestände zu verbessern und um längerfristig eine plenterartige Bewirtschaftung zu ermöglichen.

Geplante Bewirtschaftung

Langfristige Waldbauziele sind in den Wirtschaftsplänen der öffentlichen Waldbesitzer festgehalten. In allen Gebieten werden Mischbestände mit Dominanz der standortgerechten Baumarten angestrebt. Mit Ausnahme von Bach 10 (Höhenlage = 1600 m ü. M.) sind es Tannenbuchenwälder mit Fichte; auf feuchteren Standorten und in Bacheinhängen mit starker Beimischung von Esche und Ahorn. Wo die Tanne dank der Pfahlwurzel zur Stabilität beiträgt, kommt ihr als Mischbaumart eine grosse Bedeutung zu.

Im Privatwald sind keine Waldbauziele formuliert. Eingriffe richten sich mehr nach den Bedürfnissen und Interessen der Waldbesitzer. Trotzdem unterstreichen die lokalen Forstdienste die Bedeutung von ungleichaltrigen Mischbeständen und kleinflächigen bis plenterartigen Eingriffen, insbesondere in Bacheinhängen und Rutschgebieten. Explizit angestrebt werden diese strukturierten Wälder in den Bächen 3, 9 und 10.



Abb. 3.5: Einzugsgebiet des Steinibaches (Bach 2) bei Flühli, LU.

3.3.4 Landwirtschaftliche Nutzung

Die landwirtschaftlich genutzten Flächen in den Einzugsgebieten der betrachteten Bäche wurden nicht eingehend untersucht. Die Angaben stützen sich auf Beobachtungen im Gebiet und auf Angaben der lokalen Förster. In allen Einzugsgebieten ist die Nutzung durch Vieh- und Schafweide vorherrschend. In den intensiver bewirtschafteten Gebieten der tieferen Lagen werden die Wiesen sowohl gemäht wie auch beweidet. Feuchtgebiete wie Flachmoore und Rietwiesen mit Streunutzung sind ausgeprägt in den Bächen 3, 6 und 9 vertreten (Tab. 3.2). Waldweide wird noch im Einzugsgebiet der Bäche 7 und 10 als Frühlings- und Herbstweide betrieben. Im Bach besteht zudem im Sommer das Schneeflucht-Recht, welches die Beweidung bei Schneefällen auf den Alpweiden ermöglicht.

Tab. 3.2: Angaben zur landwirtschaftlichen Nutzung in den Untersuchungsobjekten. • = schwach vertreten, ● = mässig stark vertreten", ● = stark vertreten

Bach	Ein-zugsge-biet (km ²)	Wald-anteil (%)	Frei-land (ha)	Wiese	Weide	Moore, Feuchtwiesen	Waldweide	Unproduktiv, Fels
1 Brüggenwaldbach	0.81	33	54	●	●	●		
2 Steinibach	1.49	17	124	●	●	•		•
3 Seeblibach	1.16	47	61.5	•	●		•	
4 Ibach	1.64	26	121.5	●	●	•		
5 Büetschligraben	2.24	18	183.5	•	●			●
6 Steiglebach	3.02	40	181	●	●	●		
7 Grossbach	2.40	38	148.8		●		•	•
8 Chreuelbach	0.88	65	31	•	●			
9 Geissbach	1.63	45	89.5	•	●	●	•	
10 Ursprung	1.33	50	66.5		●		•	•

3.3.6 Ereignischronik

Die Auswahl der Bäche setzte voraus, dass aus den untersuchten Bachabschnitten im Verlauf der letzten 10 bis 20 Jahren kein namhafter Schwemmhholzaustrag durch Hochwasser oder Murgänge stattgefunden hat. In verschiedenen Bächen haben zwar vereinzelte und meist lokale Starkniederschläge zu Schwemmhölzerverfrachtungen geführt, welche sich aber in den betrachteten Abschnitten auf Verlagerungen mit kurzen Distanzen und auf die Bildung von Verklausungen beschränkten (Tab. A.2.2). Grössere Schwemmhölzerverfrachtungen geschahen in den letzten 10 Jahren in den Bächen 3 und 6, allerdings nicht in den untersuchten Bachstrecken, sondern deutlich unterhalb. Im Bach 7 verstopfte 1999 ein Murgang mit Geschiebe und Schwemmholtz den Durchlass (im oberen Teil des untersuchten Abschnittes).

4 Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Datenauswertungen in Form von Tabellen und Grafiken aufgeführt und bewertet. Eine ausführliche Interpretation erfolgt in Kapitel 5. In den folgenden Abbildungen und Tabellen werden die Resultate oft pro Untersuchungsobjekt resp. pro Bach angegeben, welche mit den Nummern 1 bis 10 bezeichnet sind. Angaben zu den Bächen finden sich in Tab. 3.1 und Abb. 3.2 sowie in Kapitel 3.3.

4.1 Eigenschaften der untersuchten Bachabschnitte

Die Vermessungsarbeiten in den Bachläufen und Einhängen wurden unter anderem mit dem Ziel ausgeführt, quantitative Angaben zur Topographie zu erhalten. Daraus lassen sich Hinweise ableiten auf das Potential bezüglich des Transports von Holz im Bachlauf und bezüglich des Eintrages von Holz aus den Bacheinhängen.

Neigungsverhältnisse

Die mittleren Längsneigungen der Bäche variieren in einem weiten Rahmen zwischen 7.0 und 34.1% (Tab. 4.1). In allen Bächen ist somit bei Hochwasser-Abflüssen mit Geschiebe- und Schwemmholztransport zu rechnen. Bei den steileren Bächen sind auch Murgänge möglich. Besonders hohe Längsneigungen weisen die Bäche 1, 7 und 10 auf, mittlere Neigungen die Bäche 2, 5, 8 und 9; flache Neigungen die Bäche 3, 4 und 6.

Tab. 4.1: Angaben zu den Untersuchungsobjekten (Bachbezeichnungen gemäss Tabelle 3.1). Erklärungen: ^{a)} Bachbereite bei Hochwasser-Abfluss (ca. 100-jährlich), Mittelwert aus 11 gemessenen Querprofilen; ^{b)} mittl. Breite mal 1 km; ^{c)} mittlere Neigung ermittelt anhand Geländemodell dtm-av (© swisstopo); ^{d)} Median aus 22 Pauschalgefällen zwischen Hochwasserabflusslinie und Stichprobenzentrum A; ^{e)} Median von 40 bis 44 Werten (aufgenommene Kreis-Stichproben) pro Bach.

Bach	mittl. Längs- gefälle (%)	mittl. Bach- breiten (m) ^{a)}	Hochwas- ser- Abflussflä- che (ha) ^{b)}	mittl. Neigungen 60m-Puffer (°) ^{c)}	Flächenan- teil >25° 60m-Puffer (%) ^{c)}	Pauschal- gefälle, Median (°) ^{d)}	Median Stichproben- Neigung (°) ^{e)}
1	34.1	8.7	0.87	35	84	35.4	34.1
2	16.4	8.8	0.88	27	57	30.3	34.0
3	10.4	6.3	0.63	32	70	29.9	35.0
4	7.0	8.3	0.83	37	86	39.4	40.0
5	15.5	10.9	1.09	29	64	31.8	31.1
6	7.4	10.2	1.02	32	65	38.3	40.2
7	27.8	11.2	1.12	38	84	37.8	39.1
8	13.2	6.9	0.69	37	81	39.5	37.6
9	11.8	9.5	0.95	28	65	30.8	27.2
10	22.9	8.9	0.89	35	83	36.9	37.2

Die Bachbreiten bei ca. 100-jährlichem Hochwasserabfluss betragen zwischen 6.3 und 11.2 m. Besonders schmale Gerinne weisen die Bäche 3 und 8 auf. Umgerechnet auf den gesamten Abschnitt von einem Kilometer (mittlere Breite mal Abschnittslänge) ergeben sich Hochwasserabfluss-Flächen von 0.63 bis 1.12 ha.

Grundsätzlich sind die Einhänge aller Bäche mit mittleren gemessenen Neigungen zwischen 30 und 40° als steil zu bezeichnen. Dies hat damit zu tun, dass bei der Auswahl der Untersuchungsobjekte unter anderem auch die Steilheit, resp. die Möglichkeit des Auftretens von Eintragsprozessen ein wichtiges Kriterium war. Trotzdem sind Unterschiede festzustellen. Besonders steile Einhänge (Median Pauschalgefälle) weisen die Bäche 4, 6, 7 und 8 auf,

mässig steile Einhänge die Bäche 1 und 10 und eher flachere Einhänge die Bäche 2, 3, 5 und 9.

Geomorphologische Prozesse

Im Zuge der Gerinnevermessung wurden pro Gerinneabschnitt die geomorphologischen Prozesse protokolliert, die weniger als 20 Jahre zurückliegen. Durch diese qualitative Erfassung der Prozesse sollte ein Vergleich zwischen den verschiedenen Bächen hinsichtlich der Aktivität der Eintragsprozesse ermöglicht werden.

Sowohl in Bezug auf die Rutschprozesse als auch auf die Ufererosion sind erhebliche Unterschiede zwischen den Bächen festzustellen (Abb. 4.1). Die Ufererosion beträgt pro Bachabschnitt maximal 221 Laufmeter. Besonders viel Ufererosion wurde in den Bächen 3, 4 und 5 beobachtet. Die Summe der Hang- und Uferrutschungen pro Kilometer- Abschnitt beträgt zwischen 2 und 43. In den meisten Bächen sind die Uferrutschungen häufiger als die Hangrutschungen. Die Bäche 2, 3 und 4 waren in Bezug auf Rutschungen besonders aktiv. Eine Gesamtaussage zur Aktivität der Eintragsprozesse ist in Kap. 5.3 hergeleitet.

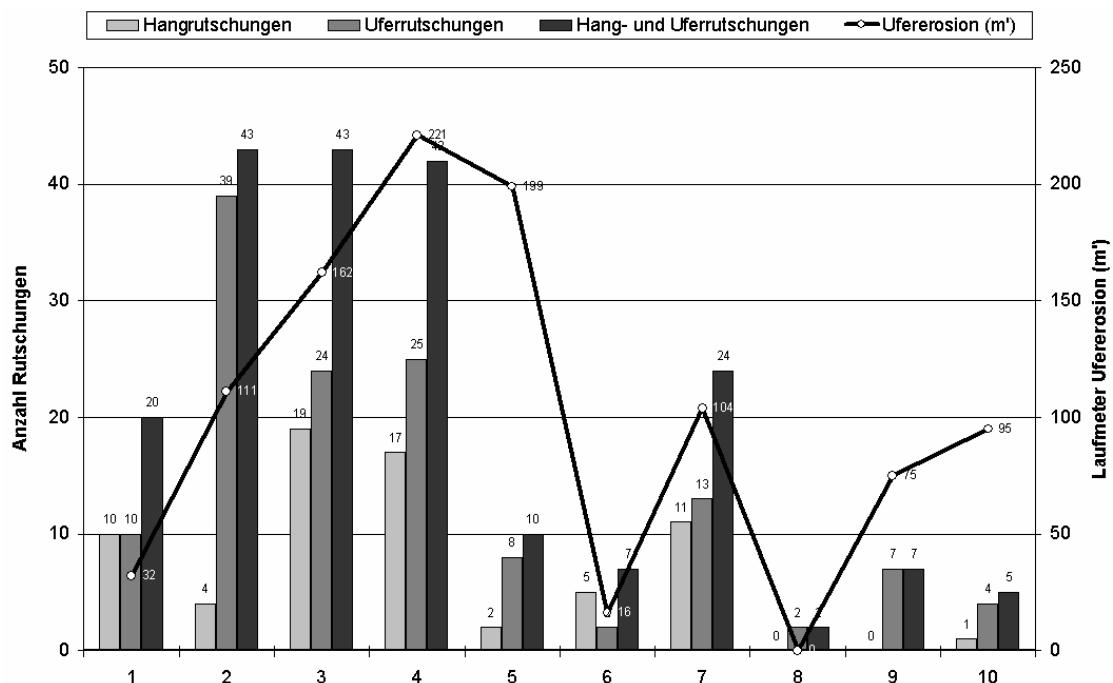


Abb. 4.1: Geomorphologische Prozesse entlang der Ufer und in den Einhängen der untersuchten Bäche (Bachbezeichnungen gemäss Tabelle 3.1).

Hindernisse

Im Verlauf der Gerinnevermessung wurden Parameter erfasst, welche den Abfluss und die Transportprozesse im Falle von Hochwassereignissen beeinflussen bzw. behindern können: Verklausungen, Engstellen, grobe Blöcke und Kunstbauten. Damit sollten Grundlagen erarbeitet werden zur Beantwortung der Frage, ob im Bachbett liegendes Holz im betreffenden Bachbett leicht transportiert werden kann.

Die Bäche 2, 3, 4, 8 und 9 weisen verhältnismässig viele Verklausungen auf (Abb. 4.2). Viele Engstellen wurden in den Bächen 1, 8 und 9 beobachtet. Die Bäche 1 und 9 enthielten weit- aus am meisten grobe Blöcke. Insgesamt kann jedoch kein Trend festgestellt werden, wonach beispielsweise Bäche mit vielen Verklausungen auch viele Engstellen oder lange Strecken mit groben Blöcken aufweisen. Eine Gesamtaussage zur Transportkapazität in den verschiedenen Bächen ist in Kap. 5.3 hergeleitet.

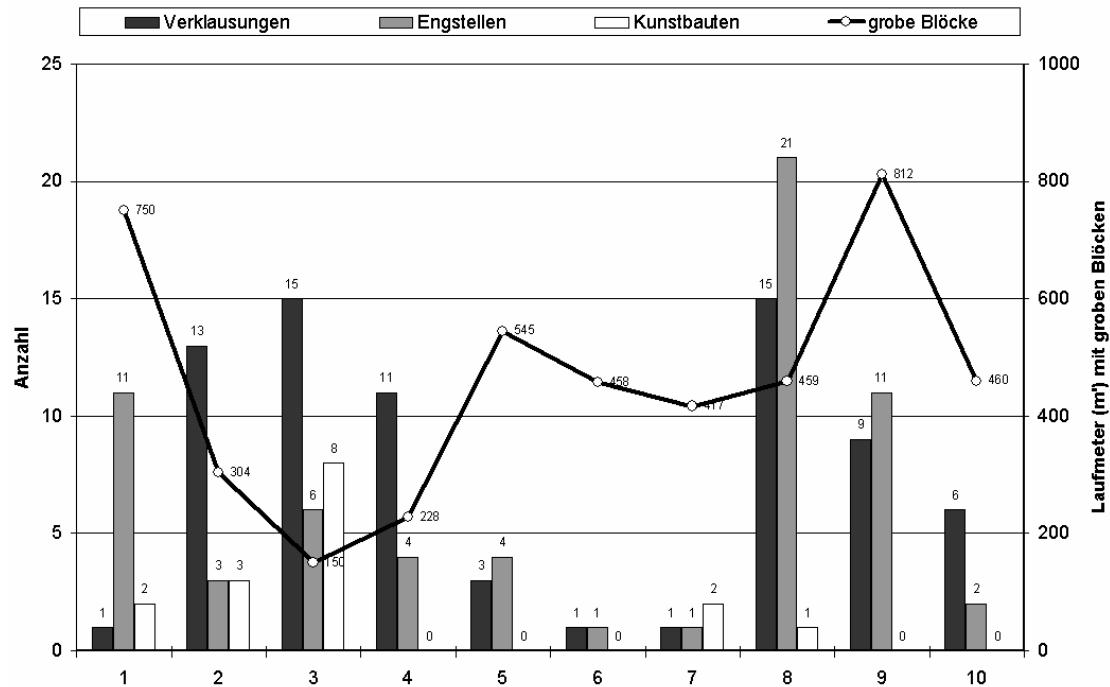


Abb. 4.2: Hindernisse für Schwemmholz- und Geschiebetransport in den untersuchten Bächen (Bachbezeichnungen gemäss Tabelle 3.1).

4.2 Holz im Bachbett

4.2.1 Allgemeines

In jedem Bach wurde eine Inventur der Holzstücke im Bachbett durchgeführt. Dabei wurden für jedes Holzstück neben den Abmessungen diverse weitere Parameter erfasst. Die Aufnahme und Beurteilungskriterien sind in Kapitel 3.2.4 sowie in der Aufnahmeanleitung im Anhang beschrieben. Die entsprechenden Resultate sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

4.2.2 Holzvolumen und Stückzahlen

Aus der Stücklänge und dem Mittendurchmesser wurde das Volumen der Holzstücke berechnet. Die Summe der Volumen aller Holzstücke, welche in den verschiedenen Bächen gefunden wurden, variiert zwischen etwa 50 m^3 und 110 m^3 (Abb. 4.3). Wie später in Kap. 4.2.7 dargestellt wird, stammen im Bach 2 ca. 3% und im Bach 3 ca. 10% des Holzes aus Holzverbauungen. Dieser Umstand ist bei der Interpretation zu berücksichtigen. Wird das Totholzvolumen auf die Fläche des Hochwasser-Abflussbereiches (Tab. 4.1) bezogen, ergeben sich Werte zwischen 56 und 178 m^3 pro Hektare. Vergleichsweise viel Holz ist in den Bächen 2, 3, 8 und 9 zu finden, mässig viel Holz in den Bächen 6 und 7 und wenig Holz in den Bächen 1, 4, 5 und 10. Welches die Gründe sind für diese unterschiedlichen Holzmengen, ist eine der zentralen Fragen im Rahmen der Interpretation der Ergebnisse.

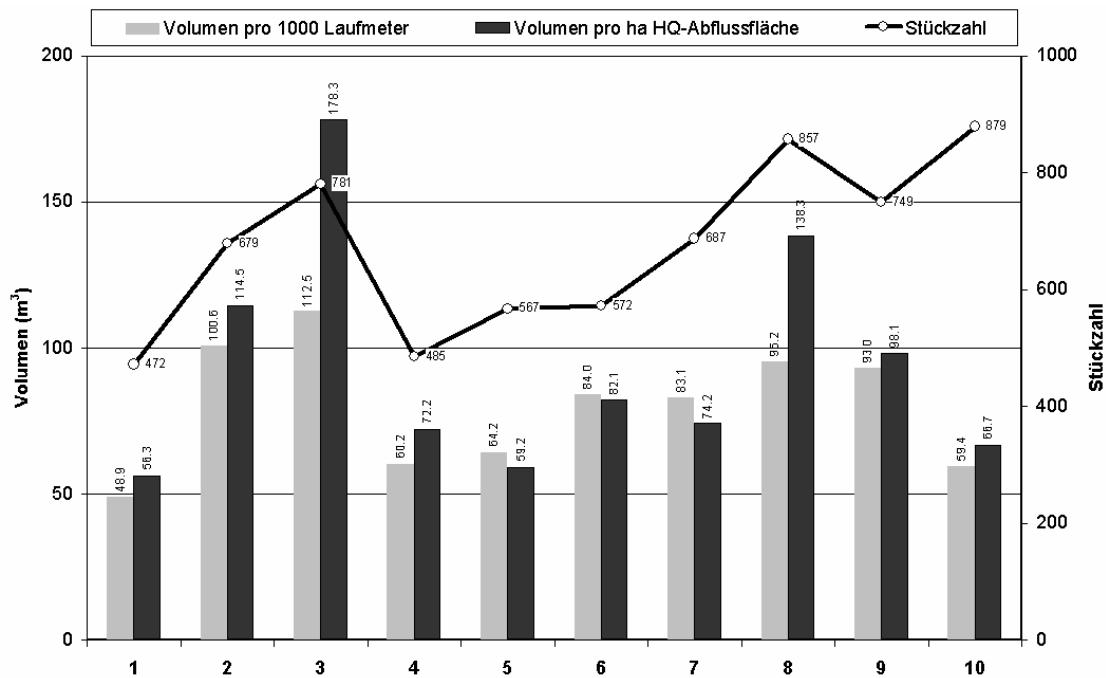


Abb. 4.3: Holzvolumen und Anzahl Holzstücke im Abflussbereich der untersuchten Bäche 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). Bemerkung: im Bach 2 stammen ca. 3% und im Bach 3 ca. 10% des Holzes aus Holzverbauungen; Holzvolumen ohne Verbauholz in Bach 2: 98.1 m³, in Bach 3: 98.5 m³. Datenbeschriftung: Holzvolumen.

In den 10 bearbeiteten Bächen wurden insgesamt 6728 Schwemmholzstücke gefunden, was pro 100 Laufmeter im Durchschnitt 67 Stücke entspricht. Die Stückzahlen variieren von 472 Stück in Bach 1 bis zu 872 Stück in Bach 10 (Abb. 4.3). Die Kurve der Stückzahlen verläuft im Allgemeinen parallel zu den Säulenhöhen für die Volumina; d.h. es wurden jeweils mittlere Stückvolumen von 0.1 bis 0.15 m³ ermittelt. Eine Ausnahme bildet der Bach 10 mit vielen kleinen Stücken und einem Mittelstamm (Vol. pro Stk.) von 0,07 m³.

Nicht nur zwischen den verschiedenen Bächen ist die Variabilität beträchtlich, sondern auch innerhalb der jeweiligen Kilometer-Abschnitte. Abb. 4.4 zeigt die Streuung der vorgefundenen Volumina pro 100 m – Abschnitt für die verschiedenen Bächen. Mit Ausnahme von Bach 8 sind grosse Streuungen in jenen Bächen zu beobachten, in denen viel Schwemmholz gefunden wurde. Dies sind mehrheitlich auch die Bächen, in denen viele Verklausungen vorkommen.

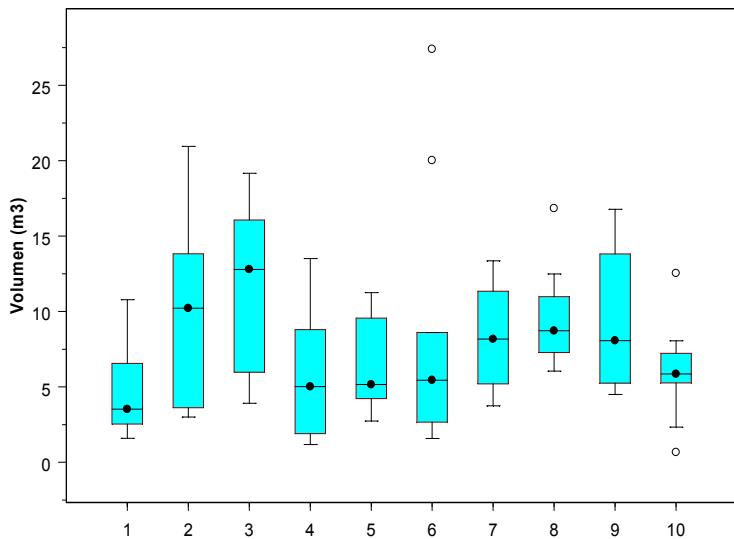


Abb. 4.4: Holzvolumen im Abflussbereich der untersuchten Bäche 1 bis 10 (Angaben in Tab 3.1); Streudiagramme der Werte für die 100 m-Abschnitte pro Bach.

4.2.3 Abmessungen der Totholzstücke

Die Abmessungen der erhobenen Stücke variieren stark. In allen untersuchten Bächen wurden jeweils viele kleine und wenig grosse Stücke gefunden (Abb. 4.5). Ungefähr 80% der Stücke sind kürzer als 5.0 m und dünner als 23 cm; etwa 50% der Stücke sind bis zu 2.0 m lang und bis zu 15 cm dick.

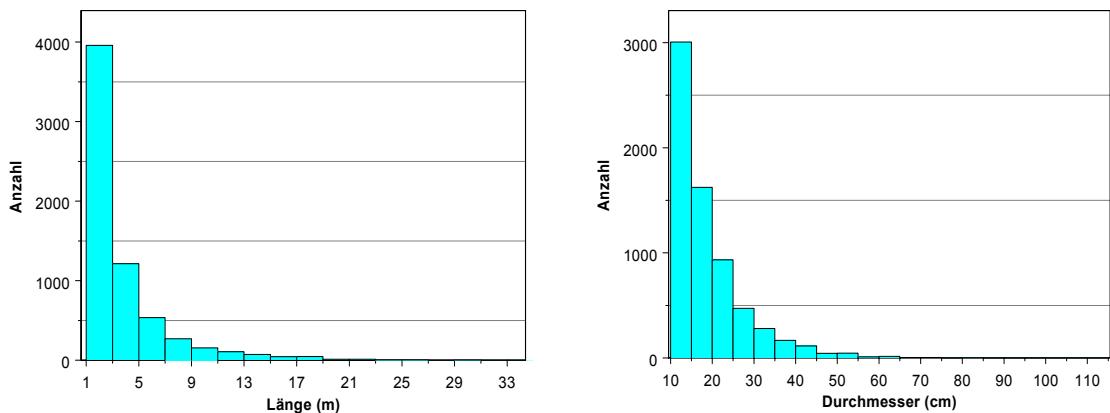


Abb. 4.5: Verteilung der Abmessungen aller Holzstücke in den 10 bearbeiteten Bächen ($n = 6728$); links: Längenverteilung, rechts: Durchmesserverteilung.

Die Abmessungen sind abhängig von der Art der Holzstücke. In Tabelle 4.2 sind die mittleren Werte (Mediane) für die Stücklänge pro Bach und Stückparameter angegeben. Insgesamt sind die Stücke ungefähr 2.0 m lang, wobei pro Bach Werte von 1.8 bis 3.0 m berechnet wurden. Die Stücke mit Zustand 1 (gute Festigkeit, vgl. Kap. 4.2.5) sind etwas länger als jene mit Zustand 2 (mäßige Festigkeit) oder 3 (schlechte Festigkeit). Aus nahe liegende Gründen sind die verschiedenen Stückarten unterschiedlich lang: ganze Bäume im Mittel um 9.0 m, Stämme mit Stöcken um 3.0 m, Stammstücke um 2.0 m und Stöcke um 0.8 m. Nadelholz-Stücke sind etwas weniger lang als Laubholzstücke. Die Länge von Stücken, bei welchen der Eintragsprozess eruiert werden konnte, beträgt ca. 6 m und liegt damit deutlich über der Länge von Stücken mit unbekanntem Eintragsprozess oder Eintragsort.

Tab. 4.2: Längen der Stücke in Meter (Median) in Abhängigkeit der Untersuchungsobjekte (Bachbezeichnungen gemäss Tabelle 3.1) und der Stückparameter.

		Holzzustand			Stückart			Holzart		Eintrag			Mobilität				
Bach	alle Stücke	Zustand 1 (gut)	Zustand 2 (mässig)	Zustand 3 (schlecht)	Stock	Stamm mit Stock	Stamm	ganzer Baum	Nadelholz	Laubholz	Rutschung	Ufererosion	Wind/Fall	lokal unbekannt	unbekannt	mobil	immobil
1	2.2	2.8	2.0	2.2	0.8	3.0	2.0	7.5	2.5	3.0	3.0	4.5	4.8	3.6	1.8	2.0	3.5
2	2.8	4.7	2.4	2.0	1.0	3.1	2.0	8.5	3.3	3.5	6.6	7.5	5.3	3.9	2.0	2.0	5.8
3	2.0	3.0	2.0	1.7	1.0	2.5	2.0	10.0	2.5	2.2	6.5	4.6	7.5	3.5	1.5	1.5	3.0
4	3.0	4.5	2.5	2.0	0.7	3.5	2.0	9.0	3.5	4.0	6.0	7.5	8.3	4.0	2.0	2.0	5.0
5	2.3	3.0	2.0	2.0	0.8	3.0	2.0	8.0	2.7	3.0	8.0	3.6	6.5	3.7	1.8	2.2	3.1
6	2.3	3.0	1.7	1.7	1.0	4.3	2.0	10.0	2.5	5.2	8.0	4.4	8.5	3.5	1.7	1.7	3.0
7	1.8	1.8	1.8	2.0	0.9	2.5	1.8	7.5	1.9	3.4	8.3	5.3	11.3	3.2	1.6	1.7	2.0
8	2.4	2.5	2.3	2.2	0.6	4.2	2.2	18.0	3.0	2.9	9.0	3.2	6.0	3.8	1.8	2.0	3.5
9	1.8	2.0	1.6	1.6	1.0	2.7	1.8	9.0	2.0	2.0	8.0	4.8	5.2	2.7	1.5	1.6	2.0
10	1.8	1.8	1.8	1.9	0.7	2.5	1.8	10.5	1.8	-	4.0	10.3	6.3	3.5	1.8	1.8	2.0
Total	2.0	2.5	2.0	2.0	0.8	3.0	2.0	9.0	2.2	3.0	6.5	6.0	6.4	3.5	1.7	1.8	3.0

Für jedes Holzstück wurde der Einfluss auf den Abfluss beurteilt und festgehalten, ob es Schnittflächen infolge Bearbeitung durch die Motorsäge aufwies. In Tabelle 4.2 fehlen diese Angaben aus Platzgründen und werden deshalb nachfolgend für alle Bäche zusammen aufgeführt. Median für Holzstücke mit Einfluss auf das Längenprofil: 2.5 m, mit Einfluss auf die Situation: 1.9 m, mit Einfluss auf Situation und Längenprofil: 3.1 m, ohne Einfluss: 2.0 m. Stücke mit Schnittflächen sind im Mittel 1.7 m und solche ohne Schnittflächen im Mittel 2.0 m lang.

4.2.4 Stückart

Jedes Stück wurde einer der folgenden Stückkategorien zugeordnet: ganzer Baum, Stamm mit Stock, Stamm, Stock. Insgesamt sind 6% der Stücke ganze Bäume, 7% Stöcke, 20% Stammteile mit Stöcken und 67% Stamm- oder Kronenteile (Abb. 4.6). Besonders viele ganze Bäume und Stämme mit Stöcken finden sich in den Bächen 2 und 4. Die entsprechenden Volumenanteile betragen für ganze Bäume 19%, für Stammteile mit Stöcken 33%, für Stöcke 4% und für Stamm-/Kronenteile 43%. Der Grund für die Differenz zwischen Volumen- und Stammzahlanteilen ist die unterschiedliche mittlere Stückgröße (Tab. 4.2).

In Tab. 4.3 finden sich Angaben zu weiteren Parametern, welche für jedes Holzstück im Abflussbereich der untersuchten Bäche erfasst wurden. Daraus ist ersichtlich, dass bei den ganzen Bäumen der Holzzustand 1 (gute Festigkeit) deutlich überwiegt. Bei den anderen Stückarten wurden nur wenig mehr Holzstücke mit Zustand 1 als mit Zustand 2 oder 3 gefunden.

Bei den ganzen Bäumen konnte die Holzart praktisch überall bestimmt werden. Nadel- und Laubholz halten sich insgesamt ungefähr die Waage. Bei den Stöcken konnte die Holzart nur etwa in der Hälfte der Stücke bestimmt werden, wobei der Nadelholzanteil 85% betrug. Bei den Stammstücken und den Stammstücken mit Stöcken überwiegt jeweils das Nadelholz.

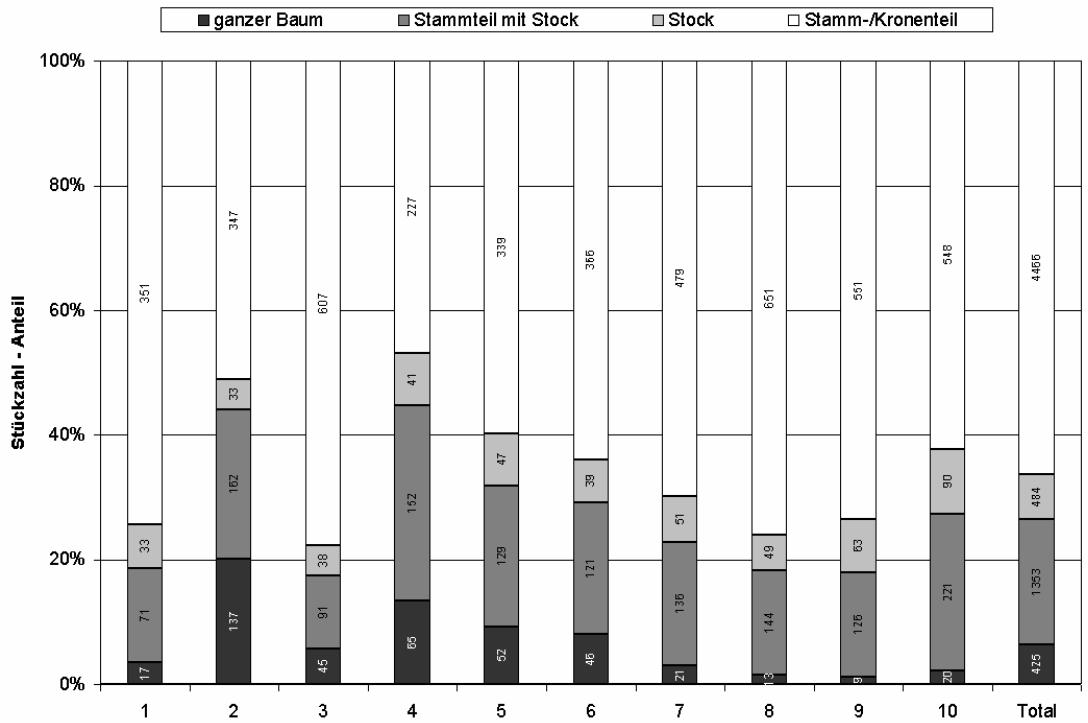


Abb. 4.6: Stückzahl-Anteil der Holzstücke nach Stückart in den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). Datenbeschriftung: Stückzahl.

Bei 86% der ganzen Bäume konnte der Eintragsprozess bestimmt werden. Sie gelangten zu 35% durch Rutschungen, zu 34% durch Ufererosion und zu 17% durch Wind/Fall in das Bachbett. Bei den Stammstücken mit Stock konnte der Eintragsprozess in nur 27% der Fälle eruiert werden. Bei diesen Stücken waren die Eintragsprozesse "Rutschung", "Ufererosion" und "Wind/Fall" ungefähr gleich stark vertreten. Bei den Stammstücken und den Stöcken konnte der Eintragsprozess in weniger als 10% der Fälle festgestellt werden. Ganze Bäume wurden – wie aufgrund der Stückgrößen zu erwarten ist – hauptsächlich als immobil beurteilt, kleinere Stücke wie Stammstücke und Stöcke als mobil.

Tab. 4.3: Verteilung der Stückart auf weitere Stückparameter (Angaben in % der Anzahl pro Stückart).

Stückart	Total (n)	Holzzustand			Holzart			Eintrag					Mobilität	
		Zustand 1, gut (%)	Zustand 2, mässig (%)	Zustand 3 , schlecht (%)	Nadelholz (%)	Laubholz (%)	nicht bestimmbar (%)	Rutschung (%)	Ufererosion (%)	Wind/Fall (%)	lokal unbekannt (%)	unbekannt (%)	immobil (%)	mobil (%)
ganzer Baum	425	85	10	5	47	52	1	35	34	18	11	2	83	17
Stammst. mit Stock	1353	43	27	30	54	28	19	9	10	8	15	59	46	54
Stammstück	4466	40	29	31	25	56	19	2	1	5	12	88	43	57
Stock	484	34	28	38	46	7	47	4	5	1	6	84	30	70
Total	6728	43	28	30	54	26	20	5	5	6	12	70	45	55

4.2.5 Holzzustand

Der Zustand des Holzes wurde in der Stückmitte anhand der Eindringtiefe eines Schraubenziehers ermittelt. Dabei wurden folgende Zustandskategorien angewendet (vgl. Aufnahmeanleitung im Anhang): 1 = guter Zustand, 2 = mässiger Zustand, 3 = schlechter Zustand. Von den insgesamt 6728 Holzstücken wurde bei 43% der Zustand als gut, bei 27% als mässig und bei 30% als schlecht beurteilt (Abb. 4.7). Am schlechtesten ist der Holzzustand im Bach 1 und am besten im Bach 6. In Bezug auf die Volumenanteile ergeben sich folgende Werte: 47% Zustand 1, 23% Zustand 2 und 30% Zustand 3. Die leichte Verschiebung der Anteile von Stückanteil zu Volumenanteil liegt darin begründet, dass Holzstücke mit Zustand 1 etwas grössere Abmessungen aufweisen (Tab. 4.2). Die Variabilität ist namentlich bei den Zustandsklassen 1 und 3 auszumachen. Die Zustandsklasse 2 weist einen mehr oder weniger konstanten Anteil von ca. 30% auf.

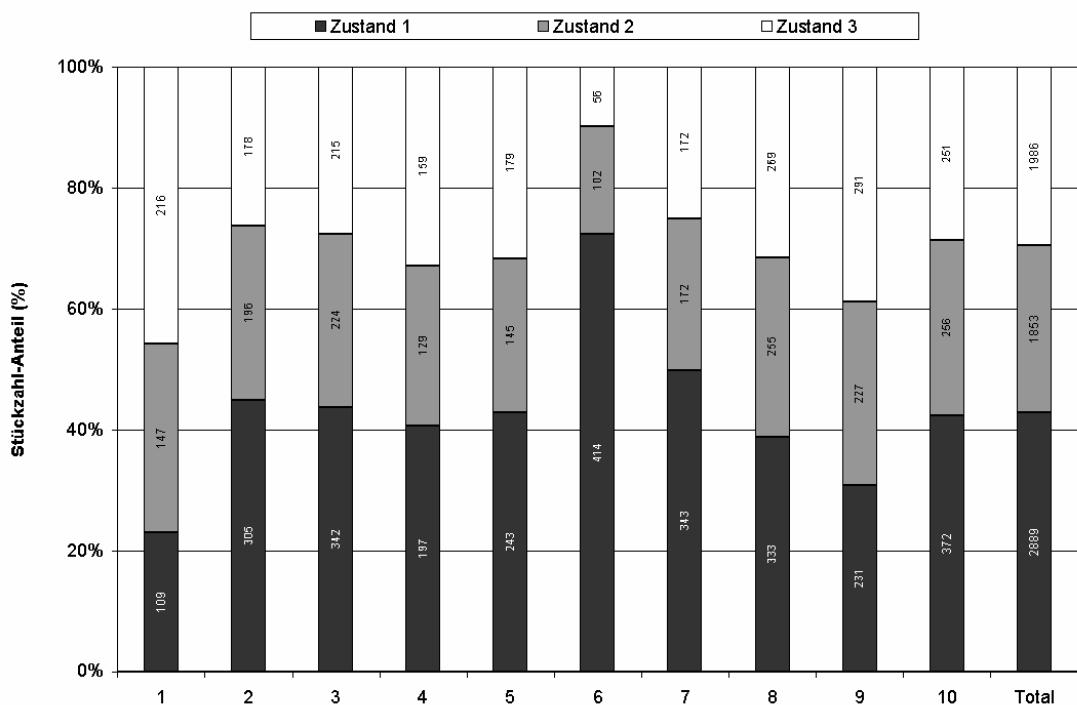


Abb. 4.7: Stückzahl-Anteil der Holzstücke nach Holzzustand in den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). 1 = guter Zustand, 2 = mässiger Zustand, 3 = schlechter Zustand Datenbeschriftung: Stückzahl.

Bei Holzstücken mit nicht bestimmbarer Holzart wurde der Holzzustand weniger häufig gefunden als bei Holzstücken mit bestimmbarer Holzart (Tab. 4.4). Dies kommt vermutlich daher, dass der Zersetzunggrad ein Grund dafür war, dass die Bestimmung nicht möglich war. Bei Holz mit bestimmbarem Eintrag sowie bei mobilen Stücken wurden verhältnismässig viele Stücke mit gutem Zustand festgestellt.

Tab. 4.4: Verteilung des Zersetzunggrades auf weitere Stückparameter (Angaben in % Zustand).

Holzzustand	Total (n)	Total (%)	Holzart		Eintrag				Mobilität		
			Nadelholz (%)	Laubholz (%)	nicht bestimmbar (%)	Rutschung (%)	Ufererosion (%)	Wind/Fall (%)	Verbau (%)	lokal unbekannt (%)	unbekannt (%)
Zustand 1	2889	43	53	33	14	8	8	7	3	12	62
Zustand 2	1853	28	53	23	24	3	4	4	1	10	78
Zustand 3	1985	29	56	18	25	3	3	6	0	14	74
Total	6728	100	54	26	20	5	5	2	6	12	70
											45
											55

4.2.6 Holzart

Für jedes Holzstück wurde versucht, die Holzart (Laub- oder Nadelholz) zu bestimmen. Bei etwa 25% der Stücke war dies nicht möglich, da namentlich aufgrund des Zersetzunggrades oder des Abriebes die massgebenden Merkmale nicht mehr sichtbar waren. Dieser Umstand muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Der Nadelholzanteil beträgt insgesamt im Durchschnitt 54% in Bezug auf die Stammzahl, resp. 68% in Bezug auf das Holzvolumen. Der Nadelholz-Volumenanteil variiert zwischen 41% im Bach 8 und 100% im Bach 10 (Abb. 4.8).

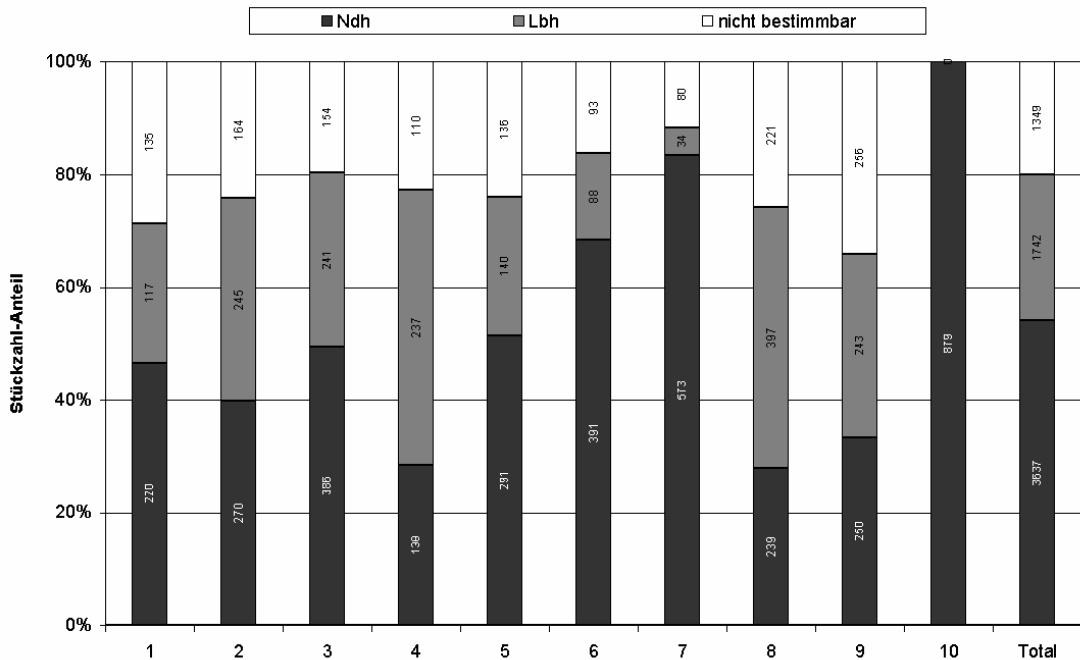


Abb. 4.8: Stückzahl-Anteil der Holzstücke nach den Holzarten Nadelholz (Ndh), Laubholz (Lbh), resp. nicht bestimmbar in den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). Datenbeschriftung: Stückzahl.

Bei den Holzstücken mit bestimmbarer Eintrag wurde etwa ähnlich viel Nadelholz wie Laubholz gefunden, d.h. weniger Nadelholz als bei allen Stücken zusammen (Tab. 4.5). Bei ver-

bautem Holz handelt es sich wie zu erwarten war, ausschliesslich um Nadelholz. Bei Stücken mit unbekannter Herkunft überwiegt Nadelholz deutlich.

Tab. 4.5: Verteilung der Holzart auf weitere Stückparameter (Angaben in %).

Holzart	Total (n)	Total (%)	Eintrag					Mobilität		
			Rutschung (%)	Ufererosion (%)	Wind/Fall (%)	Verbau (%)	lokal unbekannt (%)	unbekannt (%)	immobil (%)	mobil (%)
Nadelholz	3637	54	5	4	5	3	12	71	47	53
Laubholz	1742	26	8	10	12	0	19	51	46	54
nicht bestimmbar	1349	20	1	1	1	0	5	92	39	61
Total	6728	100	5	5	6	2	12	70	45	55

4.2.7 Eintrag

Für jedes Holzstück wurde versucht, den Eintragsprozess zu bestimmen. Dies war jedoch insgesamt nur bei 18% der Holzstücke oder 45% des Holzvolumens möglich (Abb. 4.9). Bei 12% der Stücke (14% des Volumens) konnte festgestellt werden, dass das Stück lokal anfiel (d.h. kein Transport im Bach von oben); die Angabe des genauen Eintragsprozesses war jedoch nicht möglich. Insgesamt fielen somit 59% des Holzvolumens lokal an und wurde nicht transportiert. Die Eintragsprozesse Rutschung, Wind oder Schneedruck und Ufererosion wurden etwa gleich häufig beobachtet. Bei Stücken, bei welchen der Eintrag nicht bestimmt werden konnte, kann von einem längeren Transportweg sowie von einer längeren Verweildauer ausgegangen werden.

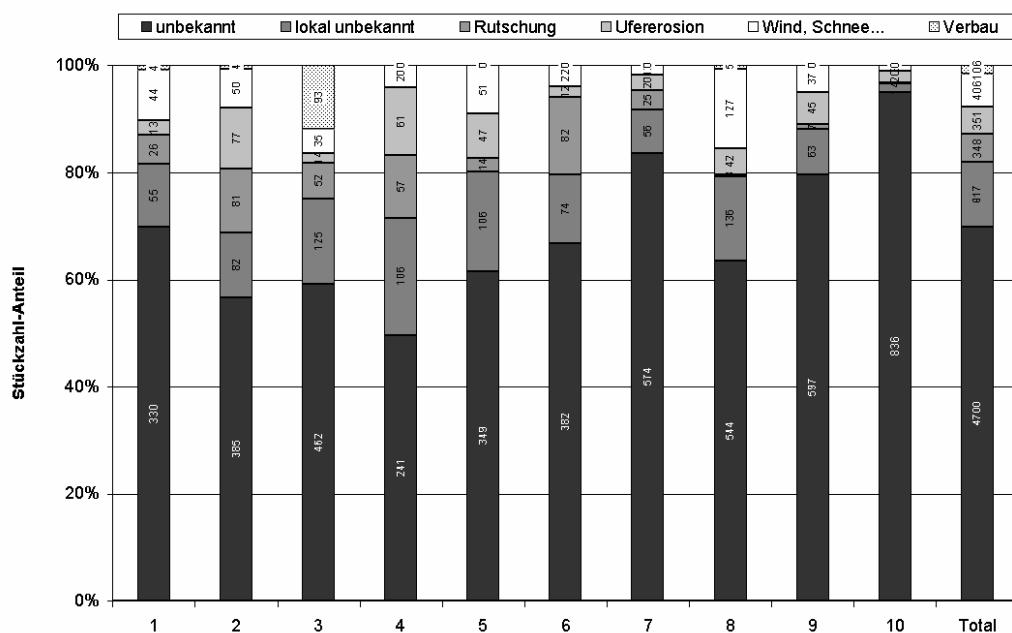


Abb. 4.9: Volumenanteil der Holzstücke nach Eintragsprozessen in den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). Datenbeschriftung: Stückzahl

Die Holzstücke mit bestimmtem Eintragsprozess sind mehrheitlich immobil (Tab. 4.6). Dies hat damit zu tun, dass es sich dabei um grosse Stücke handelt. Zudem üben Stücke mit bekanntem Eintragsprozess häufiger einen Einfluss (meistens auf das Längenprofil) aus als Stücke ohne bekannten Eintragsprozess. Die Mehrheit der Hölzer, welche infolge Verbaumassnahmen in die Bäche kamen, übt ihrer Funktion entsprechend einen Einfluss auf das Längenprofil aus. Die 32% ohne Wirkung stammen aus zerstörten Bauwerken.

Tab. 4.6: Verteilung der Eintragsart auf die weiteren Stückparameter (Angaben in % Eintrag). LP = Längenprofil, Sit = Situation.

Eintrag	Total (n)	Total (%)	Mobilität		Einfluss			
			immobil (%)	mobil (%)	Einfluss LP (%)	Einfluss Sit (%)	Einfluss LP & Sit (%)	kein Einfluss (%)
Rutschung	348	5	76	24	18	1	2	79
Ufererosion	351	5	67	33	11	1	1	87
Wind/Fall	406	6	69	31	4	1	0	95
Verbau	106	2	94	6	68	0	0	32
lokal unbekannt	817	12	51	49	11	0	0	88
unbekannt	4700	70	37	63	12	3	1	84
Total	6728	100	45	55	13	2	1	84

4.2.8 Mobilität, Wirkung und Schnittstellen

Mobilität

Die Holzstücke wurden jeweils in Bezug auf ihre Mobilität bzw. Transportfähigkeit im Falle eines Hochwassereignisses beurteilt. Große, teilweise eingeschotterte oder zu mehr als zwei Dritteln ausserhalb des Abflussbereiches liegende Holzstücke wurden als immobil bezeichnet (vgl. Aufnahmeanleitung im Anhang). Insgesamt sind etwas mehr als die Hälfte aller Stücke als mobil und damit als leicht transportierbar beurteilt worden (Tab. 4.7). Anteilmässig am wenigsten mobile Stücke sind im Bach 3 und am meisten im Bach 1 zu finden.

Wirkung

Bei jedem Holzstück wurde beurteilt, ob es die Abflussrichtung oder das Längenprofil beeinflusst (Angaben für Verklausungen siehe unten). Dies war bei insgesamt 16% aller Holzstücke der Fall (Tab. 4.7). Das Längenprofil wurde dabei weit häufiger beeinflusst als die Abflussrichtung (Situation). Am deutlichsten beeinflussten die Holzstücke den Abfluss im Bach 3.

Schnittstellen

Bei 10% aller Holzstücke wurden Schnittstellen (Ablängen oder Entastung) beobachtet (Tab. 4.7). Am wenigsten mit 1% im Bach 9 und am meisten mit 21% im Bach 3, wobei dort einige Holzstücke aus Verbauungen stammen und zudem vergleichsweise viele forstliche Eingriffe stattfanden (vgl. Tab. 4.14).

Tab. 4.7 Angaben (in Stückzahlen bzw. % der Stückzahlen) zur Mobilität und zum Einfluss der Holzstücke auf den Bachlauf sowie zum Vorkommen von Schnittstellen in den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1).

Bach	Total (n)	Mobilität		Einfluss			Schnittstellen	
		mobil (%)	immobil (%)	Längenprof. (%)	Situation (%)	LP & Sit. (%)	kein Einfluss (%)	mit Schnittst. (%)
1	472	72	28	6	0	3	92	22
2	679	55	45	6	2	0	92	11
3	781	42	58	23	4	0	72	24
4	485	50	50	21	0	2	77	7
5	567	67	33	5	0	0	95	3
6	572	45	55	27	0	0	73	8
7	687	61	39	3	0	0	97	14
8	857	52	48	12	1	0	87	3
9	749	59	41	5	7	2	86	1
10	879	53	47	17	7	0	76	6
Total	6728	55	45	13	2	1	84	10
								90

Wirkung

Bei jedem Holzstück wurde beurteilt, ob es die Abflussrichtung oder das Längenprofil beeinflusst (Angaben für Verklausungen siehe unten). Dies war bei insgesamt 16% aller Holzstücke der Fall (Tab. 4.7). Das Längenprofil wurde dabei weit häufiger beeinflusst als die Abflussrichtung (Situation). Am deutlichsten beeinflussten die Holzstücke den Abfluss im Bach 3.

Schnittstellen

Bei 10% aller Holzstücke wurden Schnittstellen (Ablängen oder Entastung) beobachtet (Tab. 4.7). Am wenigsten mit 1% im Bach 9 und am meisten mit 21% im Bach 3, wobei dort einige Holzstücke aus Verbauungen stammen und zudem vergleichsweise viele forstliche Eingriffe stattfanden (vgl. T. 4.14).

4.2.9 Verklausungen

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde der Begriff Verklausung als Ansammlung von zwei oder mehr Holzstücken und einer gemeinsamen Wirkung auf den Abfluss (Längenprofil und/oder Situation) definiert. Insgesamt wurden 94 Verklausungen festgestellt (Tab. 4.8), was im Durchschnitt einer Verklausung alle 140 m entspricht. Dabei sind zwischen den einzelnen Bächen deutliche Unterschiede festzustellen: in den Bächen 1, 6 und 7 sind deutlich weniger Verklausungen als in den anderen Bächen vorhanden. Pro Verklausung sind im Durchschnitt etwa 10 Holzstücke beteiligt. In allen Verklausungen zusammen sind ungefähr 16% der gesamten Schwemmholtzstücke zu finden.

Die mittlere Länge der Verklausungen beträgt 5.8 m und die mittlere Höhe an der Front 1.4 m. 88% der Verklausungen sind immobil und wirken sich hauptsächlich (80%) auf das Längenprofil aus. Die Ursachen wurden grösstenteils auf konzentrierten Holzeintrag (55%) und Hindernisse im Bach (22%) zurückgeführt. 92% der Verklausungen sind intakt, 8% sind gebrochen.

Tab. 4.8: Angaben zu den Verklausungen in den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1).

Bach	Anz. Verklausung	Ausmasse				Mobilität		Einfluss			Ursache				Zustand		
		Anz. Stück	mittl. Länge (m)	mittl. Höhe (m)	mittl. Bachbreite (m)	immobil	mobil	Einfluss LP	Einfluss LP+Sit	Einfluss Sit.	Engnis	Hindern. i.B.	konz. HE	unbek.	andere	gebrochen	intakt
1	2	14	6.8	1.1	7.8	1	1	2	0	0	0	1	0	0	1	0	2
2	13	128	5.1	1.5	6.2	13	0	9	0	4	2	1	7	2	1	0	13
3	14	172	4.3	1.7	4.6	12	2	11	0	3	4	4	5	1	0	2	12
4	11	112	5.0	1.4	5.6	8	3	9	1	0	1	4	5	0	0	0	10
5	8	33	5.7	1.4	6.4	7	1	8	0	0	0	0	7	1	0	1	7
6	7	177	8.2	1.9	11.1	7	0	5	0	2	1	0	4	2	0	1	6
7	1	8	7.8	1.5	7.8	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
8	16	97	3.7	1.1	4.2	11	5	15	0	1	8	1	4	3	0	0	16
9	12	104	4.3	1.1	7.2	11	1	6	2	4	3	2	4	2	0	1	11
10	10	246	6.7	1.6	8.2	9	1	9	0	1	1	1	1	7	0	1	9
total	94	1091	5.8	1.4	6.9	80	14	75	3	15	20	14	38	19	2	6	87

4.3 Holzpotential aus Ufererosion

4.3.1 Allgemeines

Die Erfassung von unmittelbar am Ufer stehenden Bäumen erlaubt Aussagen über das Potential an Holz, welches zwar derzeit noch nicht im Bachbett liegt, jedoch bei Hochwasserabfluss sehr leicht zu Schwemmholt werden kann. Diese Holzmenge wurde mit einem schematischen Vorgehen ermittelt, wobei Bäume (lebende und tote, inkl. Stöcke) erhoben wurden, deren Stammachse weniger als 1.0 m von der Hochwasserabflusslinie (beidseitig, gesamte Abschnittslänge) entfernt ist.

4.3.2 Volumen und Stammzahlen

Für die Berechnung des Holzvorrates wurden LFI-Tarife (Kaufmann 2000) verwendet. Das Holzvolumen der unmittelbar am Bachufer stehenden Bäume variiert bei den untersuchten Bächen zwischen 18 m³ im Bach 10 und 156 m³ im Bach 1. Allerdings ist zu bemerken, dass der zweithöchste Wert (Bach 9) um 70 m³ tiefer liegt (Abb. 4.10). Die Anzahl der durch Ufererosion unmittelbar gefährdeten Bäume schwankt zwischen etwa 60 und 270. Aus diesen Werten lassen sich mittlere Volumen pro Baum berechnen: bei 7 von 10 Bächen liegen sie zwischen etwa 0.15 und 0.3 m³/Baum; bei den restlichen drei Bächen 1, 8 und 9 liegen die Werte um 0.5 bis 0.6 m³/Baum. Wird der erhobene Vorrat auf die Fläche des Uferstreifens (beidseitig 1000 m²) umgerechnet, ergeben sich Werte zwischen 90 und 435, bis sogar 780 m²/ha (in Bach 1). Viel Holzvolumen direkt am Ufer weisen die Bäche 1 und 9 auf, mässig viel die Bäche 2, 4 und 8, wenig die Bäche 3, 5, 6, 7 und 10.

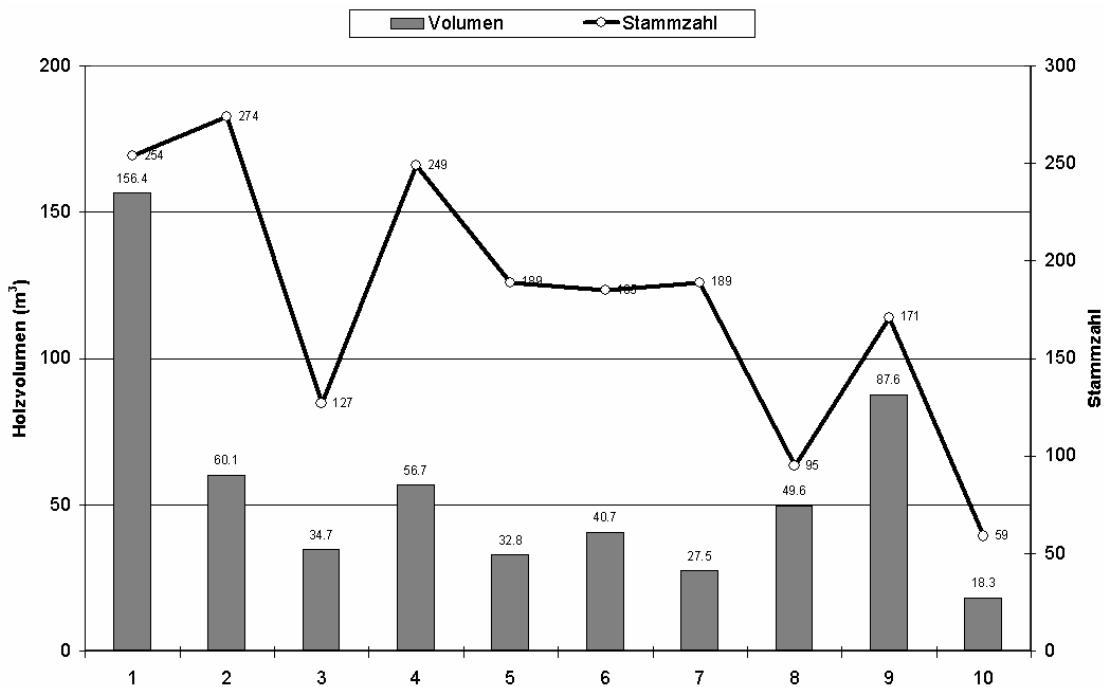


Abb. 4.10: Holzpotential aus Ufererosion (Stammzentrum innerhalb Distanz von ≤ 1.0 m zur Hochwasserlinie) der untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). Datenbeschriftung Säulen: Volumen, Datenbeschriftung Linie: Stückzahl.

4.3.3 Baumarten

Die Baumarten Buche, Esche, Erle, Ahorn, Fichte und Tanne machen zusammen 93 % des Vorrates des Uferstreifens aus (Tab. 4.9). Unter "übrigem Laubholz" sind namentlich Weiden, Mehl- und Vogelbeere und Birke zusammengefasst, unter "übrigem Nadelholz" vor allem Eiben und Lärchen. Alle Bächen ausser 6 und 10 weisen eine laubholzreiche Uferbestockung auf.

Tab. 4.9: Baumarten-Anteile (Volumen-%) in den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1).

Bach	Buche	Esche	Erle	Ahorn	Ulme	übr. Laubh.	Total Laubh.	Fichte	Tanne	Föhre	übr. Nadelh.	Total Nadelh.
1	41	12	0	6	6	0	65	11	23	0	1	35
2	5	6	24	17	0	0	53	40	7	0	0	47
3	36	21	1	8	0	1	67	12	21	0	0	33
4	2	36	8	14	10	0	70	23	7	0	0	30
5	14	9	21	9	0	2	55	32	11	0	2	45
6	0	0	30	9	0	3	43	54	2	0	1	57
7	0	0	61	2	0	2	65	23	11	0	1	35
8	34	16	0	10	12	0	73	6	20	0	1	27
9	31	1	2	17	1	1	53	13	34	0	0	47
10	0	0	0	0	0	0	0	83	0	13	4	100
Total	23	11	10	10	4	1	60	22	17	0	1	40

Über alle Bäche teilt sich das Holzvolumen in 60% Laubholz und 40% Nadelholz auf. Allerdings sind zwischen den verschiedenen Bächen erhebliche Differenzen festzustellen. So wurde beispielsweise im Bach 10 überhaupt keine Laubholz, im Bach 6 ein Laubholzanteil von 43% und im Bach 8 ein Laubholzanteil von 73% festgestellt. In den Bächen 1, 3, 4, 8 und 9 besteht das Laubholz der Uferbestockung zu wesentlichen Teilen aus Buche, Esche und Ahorn. In den Bächen 2, 5, 6 und 7 sind hauptsächlich Erlenbestockungen zu finden. Beim Nadelholz herrschen überall Fichte und Tanne vor, wobei der Tannenanteil in den Bächen 1, 8 und 9 grösser ist als der Fichtenanteil; in den übrigen Bächen überwiegt die Fichte. Inwiefern sich Uferbestockung und die Bestockung in den Einhängen unterscheidet wird aus den Ergebnissen in Kapitel 4.4 ersichtlich sein.

4.4 Holzpotential der ufernahen Bestockung

4.4.1 Allgemeines

Mittels Stichprobenverfahren wurden Vorräte, Stammzahlen sowie Durchmesser- und Baumartenverteilungen der ufernahen Bestockung abgeschätzt. Die Erhebungen wurden auf einem Raster von 44 Kreisstichproben à 5 m Radius pro Bach ausgeführt. Die Stichprobenzentren lagen in einem Abstand von ca. 20 bis 35 m vom Bachufer entfernt (Abb. 3.1). Auf diesen Flächen wurden – sofern sie im Wald lagen und das Zentrum zugänglich war – die Erhebungen zur lebenden Bestockung sowie zum stehenden und liegenden Totholz durchgeführt. Tabelle 4.10 zeigt einen Überblick über die Stichproben pro Bach.

Tab. 4.10: Stichproben-Erhebungen pro Bach (SP = Stichprobe, Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1).

Bach	SP mit Bäumen	SP ohne Bäume	SP im Wald	SP im Freiland	SP nicht zugänglich
1	39	1	40	4	0
2	37	3	40	4	0
3	32	5	37	5	2
4	43	1	44	0	0
5	40	2	42	0	2
6	40	3	43	1	0
7	40	4	44	0	0
8	39	0	39	0	5
9	41	1	42	1	1
10	39	3	42	2	0
Total	390	22	413	17	10

4.4.2 Lebender Stehendvorrat

Für die Volumenberechnung der stehenden lebenden Bestockung wurde das Tarifsystem des Landesforstinventaires (Kaufmann 2000) verwendet. Die Bestandesvorräte in den Bacheinhängen variieren zwischen 150 und 630 m³/ha (Abb. 4.11). Grosse Vorräte weisen die Bäche 2, 5 und 8 auf, mittlere Vorräte die Bäche 1, 4 und 9, kleine Vorräte die Bäche 3, 6, 7 und 10.

Der Vorrat beträgt gemäss dem zweiten Landesforstinventar (Brassel und Brändli 1999) für die Produktionsregion "Voralpen Mitte" 452 m³/ha (gilt für die Bäche 2, 3, 5 und 6), für die Region "Voralpen Ost" 463 m³/ha (gilt für die Bäche 4, 8 und 9), für die Region "Alpen Mitte" 317 m³/ha (Bach 1) und für die Region "Alpen Südost" 304 m³/ha (Bach 10). Damit liegen die Werte von fünf Bächen deutlich (d.h. um mehr als 50 m³/ha) und von drei Bächen leicht über

dem entsprechenden Wert der Produktionsregion. Bei zwei Bächen liegt der Vorrat leicht (d.h. um weniger als 50 m³/ha) und bei einem deutlich unter dem entsprechenden Wert für die Produktionsregion.

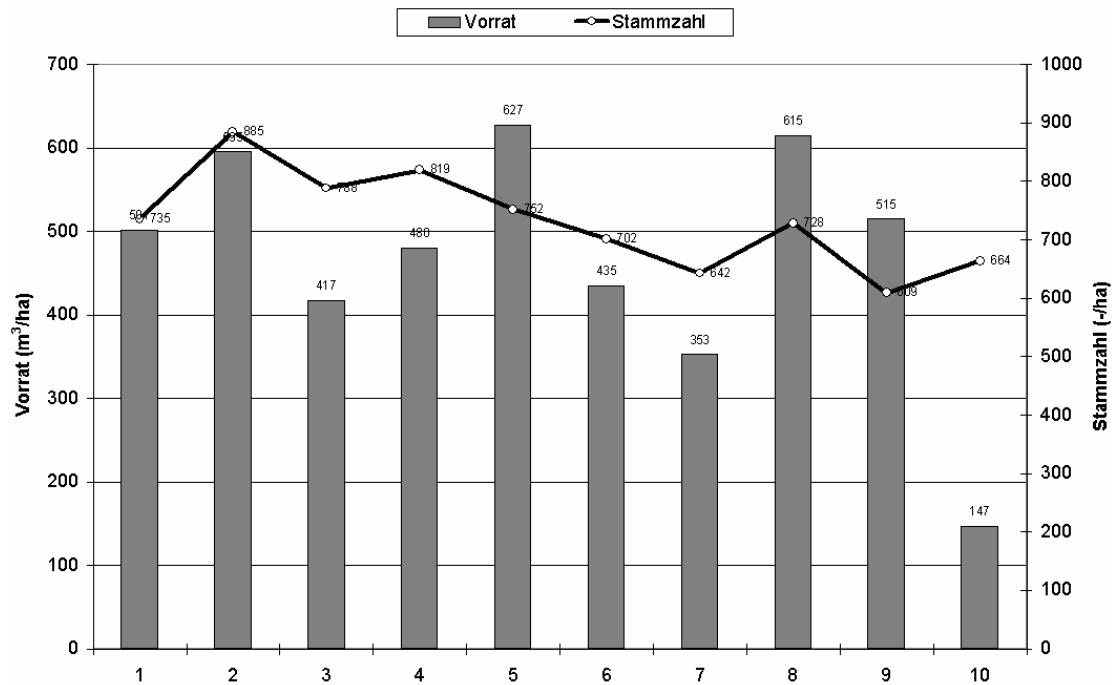


Abb. 4.11: Bestandesvorräte und Stammmzahlen der ufernahen Bestockung der untersuchten Bäche 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1).

Aufgrund der Werte für den Hektarvorrat und der Stammmzahl pro Hektare kann das mittlere Volumen pro Baum berechnet werden. Grosse Bäume mit im Durchschnitt ca. 0.8 m³ pro Baum sind in den Bächen 5, 8 und 9 zu finden. In den Bächen 1, 2, 3, 4, 6 und 7 liegen die Volumina zwischen 0.5 und 0.7 m³ pro Baum. Mit 0.2 m³ pro Baum sind im Bach 10 verhältnismässig kleine Bäume zu finden.

Tab. 4.11: Baumarten-Anteile (Volumen-%) in den Bestockungen der untersuchten Bäche 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1).

Bach	Buche (%)	Esche (%)	Erlie (%)	Ahorn (%)	Ulme (%)	Übr. Laubh. (%)	Total Laubh. (%)	Fichte (%)	Tanne (%)	Föhre (%)	Übr. Nadlehh. (%)	Total Nadelh. (%)
1	28	4	0	6	1	3	43	5	50	1	1	57
2	4	2	4	4	0	1	14	50	35	0	0	86
3	33	8	0	5	0	0	46	27	27	0	0	54
4	4	14	1	8	1	0	28	66	5	0	0	72
5	5	0	1	0	1	0	7	58	34	0	0	93
6	7	0	1	3	0	0	10	79	11	0	0	90
7	0	0	4	0	0	0	4	77	15	5	0	96
8	24	5	0	4	3	0	37	29	34	0	1	63
9	24	2	0	4	0	0	30	24	46	0	0	70
10	0	0	0	0	0	0	0	64	0	31	5	100

Insgesamt machen die Baumarten Buche, Esche, Ahorn, Fichte und Tanne 96% des Holzvorrates aus. Unter der Kategorie "übriges Laubholz" sind namentlich Ulme, Eiche und vereinzelt Mehl- und Vogelbeere sowie Weide und Birke zusammengefasst. Zu den "übrigen Nadelhölzern" gehören die Lärche (vor allem in Bach 10) und die Eibe (in den Bächen 1 und 8). Bei den Laubhölzern ist die Buche am stärksten vertreten gefolgt von Ahorn und Esche. Nur in den Bächen 2 und 4 sind Ahorn und Esche zusammen stärker vertreten als die Buche. Die Erle kommt nur selten vor. Bei den Nadelhölzern kommt die Fichte deutlich häufiger vor als die Tanne. In Bach 10 machen Föhre und Lärche wesentliche Anteile der Bestockung aus. Der natürliche Nadel- bzw. Laubholzanteil hängt stark von der Höhenlage und den damit verbundenen klimatischen Bedingungen ab. Entsprechend den Höhenstufen und Standortsregionen sollten auf nicht zu feuchten Standorten die Tanne und Buche überwiegen. Dies trifft zu bei den Bächen 1, 3, 8 und 9. In den Einzugsgebieten der Bäche 7 und 10 dominiert natürlicherweise die Fichte. Die übrigen Bäche weisen für ihre Höhenlage einen zu hohen Fichtenanteil auf.

Ein Vergleich zwischen den Ergebnissen für die Bestockung der Einhänge mit jener des Uferstreifens zeigt folgende Aspekte: Vorräte, Mittelstamm (Volumen pro Baum) und Nadelholzanteil sind im Bestand höher als auf dem Uferstreifen. Die Baumarten Erle, Weide und Ulme kommen praktisch ausschließlich auf dem Uferstreifen vor. Beim Nadelholz verändert sich das Verhältnis zwischen Fichte und Tanne vom Uferstreifen zum Bestand, indem die Tanne am Ufer relativ stärker vertreten ist als im Bestand.

4.4.3 Totholz

Wie erwähnt wurde das Vorkommen von Totholz im Bestand anhand der Kreisstichproben ermittelt. Dabei wurde unterschieden zwischen stehendem und liegendem Holz. Für jeden Eintrag wurden nebst den Abmessungen (Länge, Durchmesser) wie beim Schwemmholtz folgende Parameter bestimmt: Stückart (ganzer Baum, Stock, etc.), Holzart und Holzzustand.

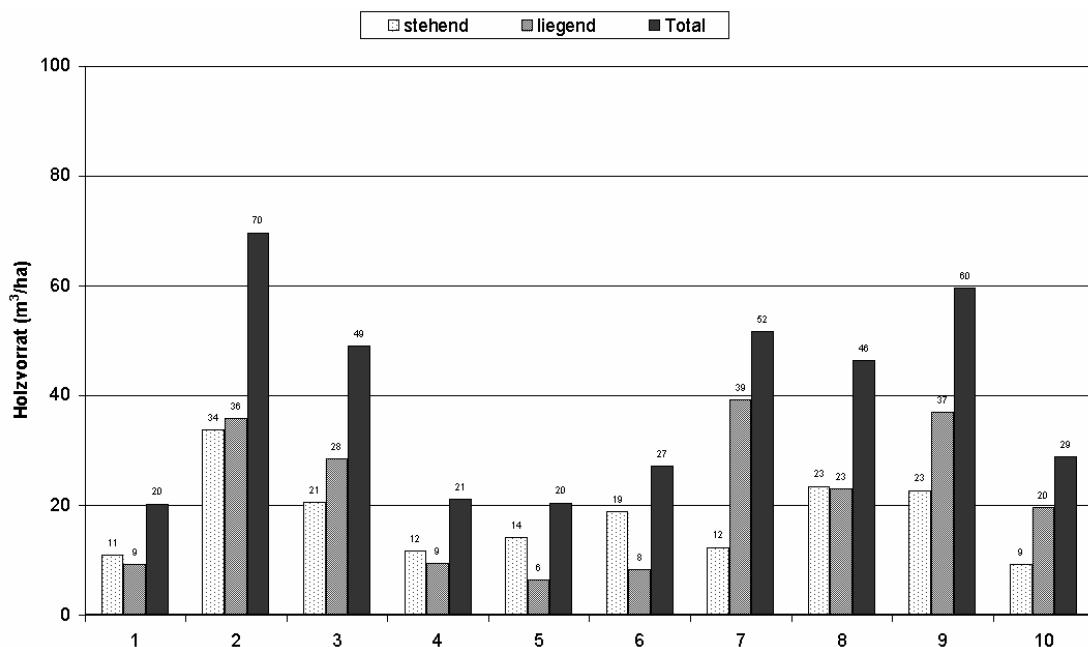


Abb. 4.12: Totholzvolumen (stehend und liegend) in den ufernahen Beständen der untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1).

Das gesamte Totholz in den Bacheinhängen variiert zwischen etwa 20 und 70 m³/ha, wobei insgesamt etwas mehr liegendes als stehendes Holz gefunden wurde (Abb. 4.12). Allerdings bestehen zwischen den einzelnen Bächen grosse Unterschiede bezüglich der Anteile des

stehenden und liegenden Totholzes. In den Bächen 1, 2, 4 und 8 sind die beiden Anteile etwa ausgeglichen, in den Bächen 5 und 6 überwiegt das stehende Totholz und in den Bächen 3, 7, 9 und 10 überwiegt das liegende Totholz.

Stehendes Totholz

In den Bestockungen der Bacheinhänge wurden pro Hektare zwischen 11 und 34 m³ stehendes Totholz oder zwischen 127 und 293 Stücke ermittelt (Tab. 4.12). Von wenigen Ausnahmen (Bäche 8 und 10) abgesehen, machen die Stöcke aufgrund der hohen Stückzahlen (Tab. A.3.8 im Anhang) den grössten Anteil aus, obwohl sie pro Stück nur ein kleines Volumen aufweisen (mittleres Volumen Stöcke: 0.06 m³; Stammstücke: 0.12 m³; ganze Bäume: 0.18 m³). Der grösste Anteil des stehenden Totholzvolumens wird einerseits durch Nadelholz und andererseits durch Holzstücke mit dem Zustand 3 (schlechte Festigkeit) gebildet.

Tab. 4.12: Angaben zum stehenden Totholz bei den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). Zustand M = Moderholz, d.h. sehr stark zersetzt.

Bach	Total (Anzahl/ha)	Total Vol. (m ³ /ha)	Stückart			Holzart			Zustand			
			ganze Bäume (%)	Stämme (%)	Stöcke (%)	Nadelholz (%)	Laubholz (%)	nicht best. (%)	Zustand 1 (%)	Zustand 2 (%)	Zustand 3 (%)	Zustand M (%)
1	127	11.0	21	13	67	58	31	12	23	37	38	2
2	293	33.8	31	8	61	75	4	21	25	18	29	27
3	241	20.6	16	31	52	62	15	24	23	29	34	13
4	286	11.7	18	16	66	73	9	18	29	2	48	21
5	267	14.1	13	10	76	50	17	33	36	10	27	26
6	213	18.9	12	8	81	83	2	14	8	17	67	8
7	219	12.6	9	11	80	88	8	5	15	9	61	15
8	147	23.5	62	33	5	74	24	1	53	11	36	0
9	200	22.7	21	33	46	59	18	23	26	7	66	1
10	200	9.3	53	13	35	100	0	0	49	5	30	16
Mittel	220	17.6	26	18	55	71	12	16	28	15	44	13

Liegendes Totholz

In den Bestockungen der Einhänge wurden zwischen etwa 6 und 40 m³ liegendes Totholz pro Hektare ermittelt (Tab. 4.13). Im Gegensatz zum stehenden Totholz machen die Stöcke beim liegenden Totholz nur einen geringen Volumenanteil aus, der grösste Anteil wird in den meisten Bächen durch die Stammteile gebildet. Eine Ausnahme bildet Bach 10, wo immerhin 15% des Totholzvolumens aus Stöcken besteht (vor allem Lawinenholz). Wie beim stehenden Totholz überwiegen die Nadelholzstücke und die Stücke mit einem Zustand 3 deutlich.

Tab. 4.13 Angaben zum liegenden Totholz bei den untersuchten Bächen 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). Zustand M = Moderholz, d.h. sehr stark zersetzt.

Bach	Total Vol. m ³ /ha	ganze Bäume (%)	Stückart			Holzart		Zustand				
			Stämme + St. (%)	Stämmteile (%)	Stöcke (%)	Nadelholz (%)	Laubholz (%)	nicht best. (%)	Zustand 1 (%)	Zustand 2 (%)	Zustand 3 (%)	Zustand M (%)
1	9.3	8	12	80	0	56	27	17	14	14	72	0
2	35.8	44	21	34	1	86	11	4	46	20	31	3
3	28.5	39	8	46	6	59	34	6	33	21	41	5
4	9.4	22	20	55	2	58	32	10	28	26	42	4
5	6.4	7	24	66	3	21	41	38	13	18	59	10
6	8.2	9	23	65	2	74	13	13	20	33	47	0
7	40.2	8	40	47	4	93	4	3	2	16	68	13
8	22.9	8	52	40	0	49	42	8	36	20	44	0
9	36.9	8	20	70	2	52	42	6	19	19	54	7
10	19.5	23	29	33	15	100	0	0	11	5	65	19
Total	21.6	20	27	50	4	71	22	7	23	18	52	7

4.5 Qualitative Bestandesbeurteilung

4.5.1 Allgemeines

Bei den 100 m - Gerinneabschnittspunkten wurden jeweils beidseitig in den Einhängen qualitative Bestandesbeurteilungen durchgeführt; d.h. pro Bach in der Regel 22 Beurteilungen. Bei den Bächen 1, 2, 3 und 8 konnte je eine Bestandesbeurteilung nicht durchgeführt werden, da es sich um unzugängliche Flächen oder Freiland handelte (Tab. 4.14). Die Beurteilung erfolgte auf einer Fläche mit einem Radius von ca. 15 m im Bereich der Stichprobenflächen, auf welchen die Erhebungen für die Inventur durchgeführt wurden. Zu den erhobenen Daten gehörten Aspekte des Standortes, der Bestandestypologie, der Bestandesstabilität und der Verjüngung (vgl. Kap. 3).

4.5.2 Angaben zum Standort

Auf der für die Bestandesbeurteilung relevanten Fläche mit Radius von 15 m wurden Aspekte zum Standort (Anzeichen geomorphologischer Prozesse, Bodenmächtigkeit) sowie zu früheren forstlichen Nutzungen und Eingriffen erhoben. Mit Ausnahme des Baches 10 fanden sich auf der Mehrheit der beurteilten Flächen Anzeichen von Rutschungen (Tab. 4.14). Ebenfalls stark vertreten sind Bäume mit Säbelwuchs, welcher auf Schneegleiten und oberflächennahe Bodenbewegungen hinweist. In der Kategorie "andere Prozesse" sind mehrheitlich Erosionsprozesse in Runsen sowie Steinschlag zusammengefasst. Auf insgesamt nur 19 Beobachtungsflächen (9%) wurden keine Anzeichen von geomorphologischen Prozessen festgestellt. Besonders viele Nennungen weisen die Bäche 3, 7, 8 und 9 auf. Es ist zu bemerken, dass die Ergebnisse nur das Vorkommen, nicht jedoch die Intensität der Prozesse dokumentieren. Allerdings kamen Mindestkriterien für die Erfassung zur Anwendung, welche in der Aufnahmeanleitung im Anhang beschrieben sind.

Tab. 4.14: Angaben zum Standort bei den untersuchten Bächen 1 bis 10; jeweils Anzahl Beurteilungen pro Bach. Bemerkung: bei den Prozessen (Rutschungen, Säbelwuchs, Erosion, andere) sind Mehrfachnennungen möglich. Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1.

Bach	Anz. Beurteil.	geomorph. Prozesse					Bodentiefe > 30 cm	Bodentiefe < 30 cm	Eingriffe			
		Rutschungen	Säbelwuchs	Erosion	andere	keine			keine Anzeichen	vor > 20 J.	vor 10-20 J.	vor < 10 J.
1	21	13	8	11	3	4	20	1	9	10	1	1
2	21	16	16	6	6	2	21	0	4	10	4	3
3	21	17	10	11	2	2	13	8	3	9	8	1
4	22	18	8	13	1	1	18	4	0	22	0	0
5	22	15	13	8	2	4	20	2	4	16	1	1
6	22	15	14	8	3	2	15	7	5	12	5	0
7	22	14	18	6	10	0	19	3	5	13	4	0
8	21	12	11	19	5	2	15	6	15	5	1	0
9	22	18	22	4	12	0	22	0	9	10	3	0
10	22	7	16	6	8	2	19	3	12	10	0	0
Total	216	145	136	92	52	19	182	34	66	117	27	6

Die Bodenmächtigkeit wurde erfasst, weil sie Hinweise zur Stabilität von Bäumen geben kann. Bei 16% der Beobachtungsflächen (vor allem in den Bächen 3, 6 und 8) wurde der Boden als sehr flachgründig beurteilt.

Bei der Auswahl der Bäche für die Untersuchung wurde darauf geachtet, dass in den letzten Jahren möglichst wenig Eingriffe in der ufernahe Bestockung erfolgt waren. Tab. 4.14 zeigt, dass auf insgesamt nur 6 Beobachtungsflächen (3%) frische Eingriffe und auf 27 Flächen (13%) Eingriffe mit Eingriffszeitpunkt vor 10 bis 20 Jahren beobachtet wurden. Am meisten Flächen ohne jegliche Anzeichen von Eingriffen fanden sich in den Bächen 1, 8, 9 und 10. Dies stimmt mit den Ausführungen in Kapitel 3.3.3 überein.

4.5.2 Bestandestypologie

Im Zusammenhang mit der Bestandestypologie wurden folgende Aspekte beurteilt: vertikales Gefüge, bestandesbildende Elemente, Entwicklungsstufe (nach Oberdurchmesser), sowie Baumartenmischung und Kronenschluss der verschiedenen Bestandesschichten und das Vorkommen von Bestandeslücken. Abb. 4.13 zeigt die in den Einhängen der 10 untersuchten Bächen vorgefundene Verhältnisse in Bezug auf das vertikale Gefüge und die Entwicklungsstufe. In den Bächen 7 und 10, welche sich in Gebirgsregionen befinden, wurden besonders viele Beurteilungsflächen mit stufigen Beständen vorgefunden, in den Bächen 1, 2 und 9 besonders wenige.

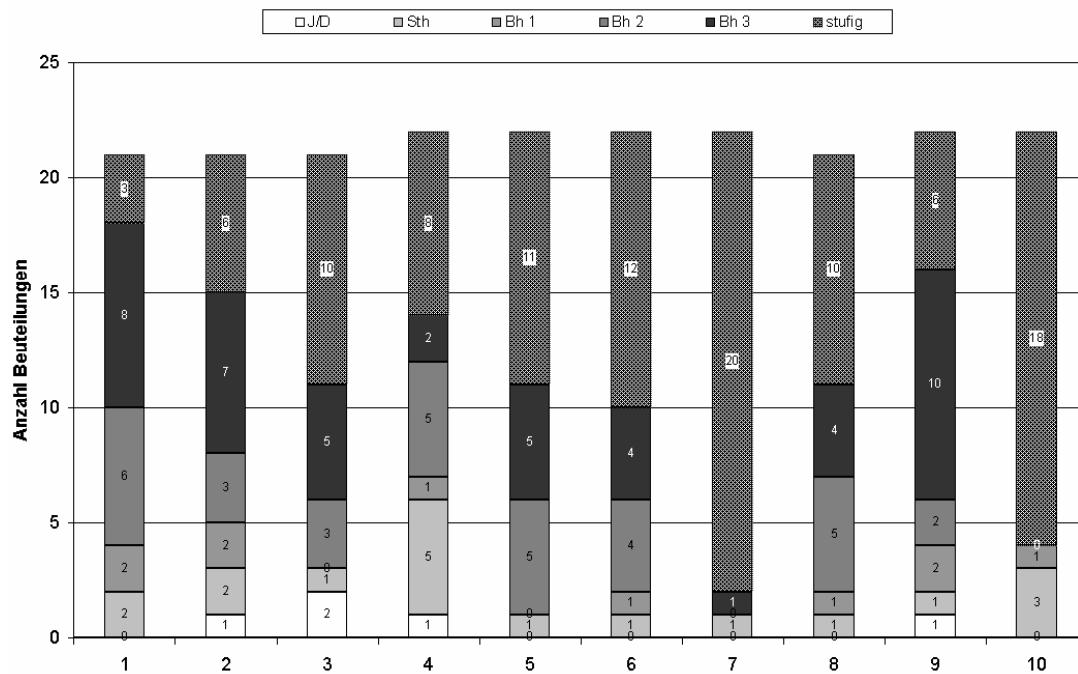


Abb. 4.13: Bestandestypologie der ufernahen Bestände der untersuchten Bäche 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). J/D = Jungwuchs und Dickung (<10 cm Bhd), Sth = Stangenholz (10-30 cm Bhd), Bh1 = Baumholz 1 (30-40 cm Bhd), Bh2 = Baumholz 2 (40-50 cm Bhd), Bh3 = Baumholz 1 (>50 cm Bhd), Bhd = Brusthöhendurchmesser, d.h. Durchmesser in 1.3 m Höhe.

Nur auf 33 Beurteilungsflächen (15%) wurde Jungwald, d.h. Jungwuchs, Dickung oder Stangenholz festgestellt. Baumholz 2 (Bhd 40-50 cm) und Baumholz 3 (Bhd >50 cm) machen zusammen insgesamt 69% der Flächen aus. Besonders viele Flächen mit Baumholz 3 sind in den Bächen 5 und 9 zu finden. Im Rahmen der Gesamtbeurteilung (Tab. 4.17) werden Bestände mit Baumholz 3 in grober Vereinfachung zu den alten Beständen gezählt. Insgesamt 48% der Bestockungen wurden als stufig, 23% als zweischichtig und 29% als einschichtig angesprochen. Besonders viele stufige Bestockungen sind in den Bächen 7 und 10 zu finden. Die Bestandesschichten wurden zusätzlich bezüglich des Kronenschlusses beurteilt. Im Rahmen der Gesamtbeurteilung (Tab. 4.17) werden Bestockungen mit einem Kronenschluss von weniger als 0.8 zu den lückigen Bestockungen gezählt. Bei insgesamt 45% der Bestandesbeurteilungen fanden sich Bestandeslücken mit einem Durchmesser von mehr als einer halben Baumlänge. Viele Lücken sind in den Bächen 2, 3, 5, 6, 7 und 10 vorhanden.

In Übereinstimmung mit der Anleitung für das dritte Landesforstinventar (Keller 2005) wurde die Bestockung in vier Mischungsklassen eingeteilt: Nadelholz rein (91-100% Nadelbäume), Nadelholz gemischt (51-90% Nadelbäume), Laubholz gemischt (11-50% Nadelbäume) und Laubholz rein (0-10% Nadelbäume). In den Bächen 1, 3, 4 und 8 wurden um die Hälfte oder mehr der Bestockungen den Klassen "Laubholz rein" oder "Laubholz gemischt" zugeordnet und können demzufolge als laubholzreich bezeichnet werden. Die Bächen 2, 5 und 9 zählen zu den Nadelmischwäldern. Die Bächen 6, 7 und 10 weisen so wenig Laubholz auf, dass sie als praktisch reine Nadelwälder betrachtet werden können. Im Rahmen der Gesamtbeurteilung (Tab. 4.17) werden Bestände mit mehr als 50% Laubholz zu den laubholzreichen Beständen gezählt.

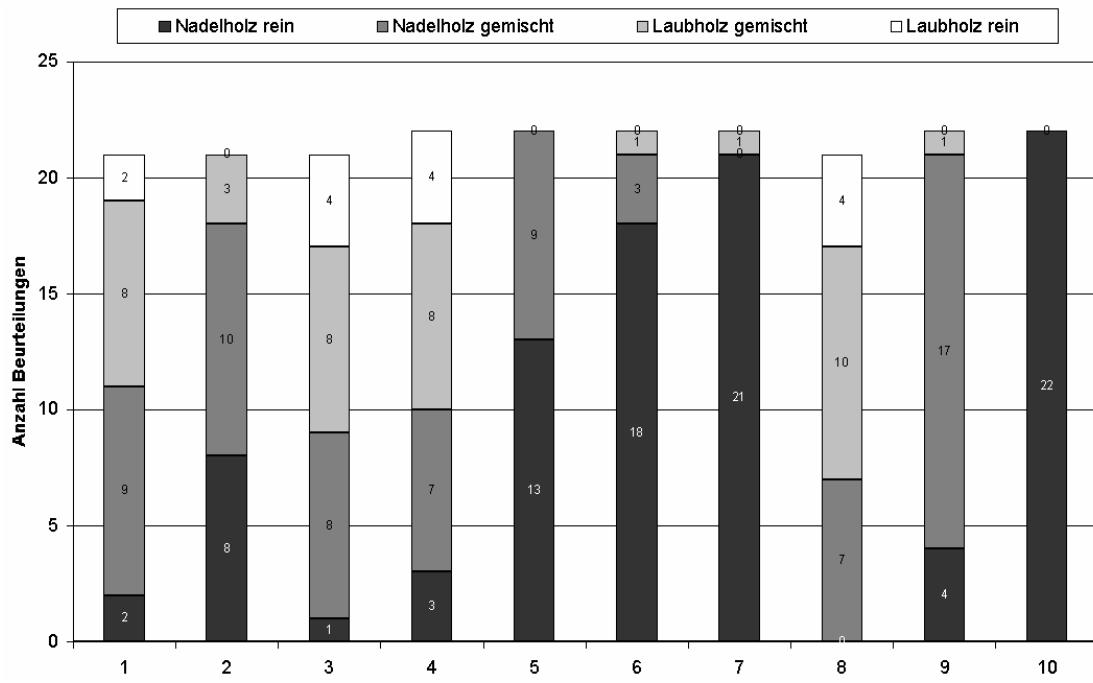


Abb. 4.14: Mischung der ufernahen Bestände der untersuchten Bäche 1 bis 10 (Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1). Mischungsklassen: Nadelholz rein (91-100% Nadelbäume), Nadelholz gemischt (51-90% Nadelbäume), Laubholz gemischt (11-50% Nadelbäume) und Laubholz rein (0-10% Nadelbäume).

4.5.3 Stabilität

Die fünf Stabilitätskriterien Schrankheitsgrad, Kronenlänge, Verankerung, Schiefstand und Schäden wurden auf jeder Beurteilungsfläche an den jeweils fünf stärksten Gerüstbäumen beurteilt. Der Schrankheitsgrad nur gerade in zwei von 214 Fällen als kritisch beurteilt, und auf nur wenigen Flächen (6%) wurden Bäume mit Schäden – namentlich durch Steinschlag – gefunden (Tab. 4.15). Hingegen wurden in Bezug auf die Kronenlänge, die Verankerung und den Schiefstand gewisse Defizite festgestellt: auf insgesamt 33% der Flächen betrug die Kronenlänge weniger als die Hälfte der Baumlänge; auf 60% der Flächen wurde die Verankerung als mittel bis schlecht beurteilt und auf 20% der Flächen standen die Gerüstbäume leicht schief bis schief. Um die zehn untersuchten Bäche in Bezug auf die Stabilität ihrer ufernahen Bestockung zu vergleichen, erfolgte eine Zusammenfassung der Beurteilungen der vier Kriterien Schrankheitsgrad, Kronenlänge, Verankerung und Schiefstand in die drei Stabilitäts-Klassen "gut", "mässig" und "schlecht". Für diese Einteilung kamen die folgenden Regeln zur Anwendung:

- Gesamtstabilität "gut": alle vier Einzel-Kriterien positiv, resp. unproblematisch¹ bewertet oder maximal ein Kriterium mit mässiger Stabilität²
- Gesamtstabilität "mässig": zwei oder mehr Einzel-Kriterien mit mässiger Stabilität, maximal ein Einzel-Kriterium mit problematischer³ Stabilität

¹ gute Stabilität: Schrankheitsgrad nicht kritisch, Kronenlänge > ½, Verankerung gut, Schiefstand gerade

² mässige Stabilität: Kronenlänge ½ - ¼ Baumlänge, Verankerung mittel, Schiefstand leicht schief

³ problematische Stabilität: Schrankheitsgrad kritisch, Kronenlänge < ¼ Baumlänge, Verankerung schlecht, Schiefstand schief

- Gesamtstabilität "schlecht": weniger als drei Kriterien positiv und mehr als ein Einzelkriterium problematisch

Gemäss dieser Gesamtbeurteilung sind die Bestockungen in den Bächen 1, 2, 4 und 10 eher stabiler; in den Bächen 3, 5, 6, 7, 8 und 9 sind mehr Stabilitätsprobleme zu finden.

Tab. 4.15: Stabilitätskriterien und Gesamtbeurteilung der Stabilität der ufernahen Bestockungen der untersuchten Bäche 1 bis 10: Anzahl Beurteilungen pro Kriterium; Beurteilungen von total 21 bzw. 22 Beständen. Bl. = Baumlänge. Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1.

Bach		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Schlankheitsgrad	nicht kritisch	21	20	20	21	22	22	22	21	22	21	212
	kritisch	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Kronenlänge	> ½ Bl.	9	13	13	15	16	18	22	7	12	19	144
	½ - ¼ Bl.	12	7	7	7	6	4	0	13	10	2	68
	< ¼ Bl.	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2
Verankerung	gut	15	12	9	11	10	3	0	4	10	13	87
	mittel	5	7	7	6	10	11	12	14	9	8	89
	schlecht	1	1	5	5	2	8	10	3	3	0	38
Schiestand	gerade	18	17	18	19	17	20	14	20	14	14	171
	leicht schief	3	2	2	3	5	2	8	1	6	4	36
	schief	0	1	1	0	0	0	0	0	2	3	7
Schäden	keine	19	19	21	22	22	22	17	19	20	21	202
	Steinschlag	0	0	0	0	0	0	5	2	1	0	8
	Holzernte	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3
	biotisch	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
"Stabilität"	gut	17	15	11	15	13	9	10	7	10	15	122
	mässig	3	4	7	5	8	13	6	13	10	4	73
	schlecht	1	1	3	2	1	0	6	2	2	2	20

4.5.4 Verjüngung

Auf einer Kreisfläche mit einem Radius von 5 m wurde die Verjüngung beurteilt. Dabei wurde unterschieden nach der Ansamung (Pflanzen bis 10 cm Höhe), dem Anwuchs (Pflanzen mit 10 bis 40 cm Höhe) und dem Aufwuchs (Pflanzen von mehr als 40 cm Höhe bis 10 cm Brusthöhdurchmesser). Die Ansamung wurde insgesamt schlechtesten beurteilt: auf 78% der Flächen wurde keine oder nur spärliche Ansamung festgestellt (Tab. 4.16). Der Anwuchs nimmt eine Mittelstellung ein: 68% der Flächen weisen keinen oder spärlichen Anwuchs auf. Der Aufwuchs ist am wenigsten problematisch: nur 46% der Flächen weisen keinen oder nur spärlichen Aufwuchs auf.

Die Verjüngungsproblematik stellt sich in den verschiedenen Bächen unterschiedlich stark. Besonders in den Bächen 2, 3, 6, 8 und 10 weist die Verjüngung erhebliche Defizite auf. Als Gefährdung für die Ansamung wurden meistens die Faktoren Vegetationskonkurrenz, Erosion und Licht-/Wärmemangel genannt; beim Anwuchs spielte in etwa der Hälfte der Bäume das Wild eine wichtige Rolle (Verbiss und Fegen). Als wichtigste Gefährdungen für den Aufwuchs wurden der Lichtmangel, das Wild sowie das Schneegleiten genannt (Tab. A.3.9 bis 3.11 im Anhang).

Tab. 4.16: Verjüngung in den ufernahen Bestockungen der Bäche 1 bis 10 (Anzahl Beurteilungen pro Kriterium, Angaben zu den Bächen in Tab. 3.1).

Bach		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Ansamung	keine	2	2	6	0	6	9	6	3	0	16	50
	spärlich	12	14	13	12	14	12	12	16	10	4	119
	reichlich	6	5	2	8	2	1	3	2	11	1	41
	üppig	1	0	0	2	0	0	1	0	1	0	5
Anwuchs	kein	1	1	3	0	1	2	0	4	2	7	21
	spärlich	10	12	15	10	12	18	13	15	9	11	125
	reichlich	7	8	3	9	9	2	8	2	11	3	62
	üppig	3	0	0	3	0	0	1	0	0	0	7
Aufwuchs	kein	0	0	2	1	0	0	2	10	2	1	18
	spärlich	5	11	11	8	6	5	6	11	6	13	82
	reichlich	14	9	6	10	14	15	14	0	11	7	100
	üppig	2	1	2	3	0	2	0	0	3	0	13

4.6 Zusammenstellung der Resultate und statistische Auswertung

Aus der grossen Anzahl verschiedener Ergebnisse werden in Tab. 4.17 über 20 Parameter aufgeführt. Die Ergebnisse wurden in den entsprechenden Kapiteln kommentiert und stehen für die statistische Modellbildung zur Verfügung. Bezüglich verschiedener Aspekte der qualitativen Bestandesbeurteilung musste eine massgebende Zahl gewählt werden, welche den entsprechenden Sachverhalt möglichst ganzheitlich beschreibt (Parameter mit Indizes 2 bis 7 Tab. 4.17).

Tab. 4.17: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse für die untersuchten Bäche 1 bis 10 (Angaben in Tab. 3.1). ¹⁾ ohne Holzstücke von Verbauungen, ²⁾ Anzahl Bestände mit Laubholzanteil ≥ 50%, ³⁾ Anzahl Bestände mit Entwicklungsstufe Bh3, ⁴⁾ Anzahl Bestände mit guter Stabilität (= Resultat Codierung), ⁵⁾ Anzahl lockere, lückige und aufgelöste Bestände, ⁶⁾ Anzahl einschichtige Bestände, ⁷⁾ Anzahl Bestände ohne Eingriffe.

Parameter/Bach	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schwemmholtz ($m^3/1'000 m^3$) ¹⁾	48.6	98.1	98.5	60.3	64.3	84.0	83.1	94.4	93.0	59.4
Schwemmholtz (Stz/ $1'000 m^3$) ¹⁾	468	675	688	485	567	572	687	852	749	879
Ufererosion (m')	32	111	162	221	199	16	104	0	75	95
Uferrutschungen (-)	10	39	24	25	8	2	13	2	7	4
Hangrutschungen (-)	10	4	19	17	2	5	11	0	0	1
mittl. Neigung Pauschalgef. (°)	35.2	31.1	34.1	38.8	31.2	35.6	37.7	42.3	29.2	39.0
Median Neig. Pauschalgef. (°)	35.4	30.3	29.9	39.4	31.8	38.3	37.8	39.5	30.8	36.9
mittl. Neigung Stichproben (°)	33.2	33.0	33.6	38.8	30.8	39.4	39.1	38.7	28.5	37.6
Median Neig. Stichproben (°)	34.1	34.0	35.0	40.0	31.1	40.2	39.1	37.6	27.2	37.2
mittl. Neigung Puffer dtm_av (°)	35	27	32	37	29	32	38	37	28	35
Vorrat Uferbest. (m^3)	156.4	60.1	34.7	56.7	32.8	40.7	27.5	49.6	87.6	18.3
Stz. Uferbest. (-)	254	274	127	249	189	183	189	95	171	59
mittl. Vorrat Bestand (m^3/ha)	501	595	417	480	627	435	353	615	515	147
Stz. Bestand (-/ha)	735	885	788	819	752	702	642	728	609	664
Best. mit viel Laubholz ²⁾	10	3	12	12	0	1	1	14	1	0
alte Bestockungen ³⁾	8	9	9	4	12	8	7	6	14	0
stabile Bestände ⁴⁾	17	15	11	15	13	9	10	7	10	15
lückige Bestockungen ⁵⁾	2	7	5	6	14	17	20	3	12	22
einschichtige Bestockungen ⁶⁾	11	9	5	8	4	6	0	7	9	4
Bestockungen ohne Eingriffe ⁷⁾	9	4	3	0	4	5	5	15	9	12
mittl. Totholz stehend (m^3/ha)	11.0	33.8	20.6	11.7	14.1	18.9	12.3	23.5	22.7	9.3
Totholz liegend (m^3/ha)	9.3	35.8	28.5	9.4	6.4	8.2	39.3	22.9	36.9	19.5
Totholz total (m^3/ha)	20.2	69.6	49.0	21.1	20.5	27.1	51.6	46.4	59.6	28.8

Im Verlauf des Projektes wurden viele Daten zu verschiedenen Aspekten erfasst. In Bezug auf die Hauptfrage nach dem Einfluss der Bestockung auf das Schwemmholtzvorkommen ist es trotzdem schwierig, eine statistisch abgesicherte Aussage zu machen. Das liegt einerseits daran, dass nur zehn Bäche untersucht werden konnten und damit nur eine kleine Stichprobe zur Verfügung steht. Andererseits muss man davon ausgehen, dass viele Faktoren das Vorkommen von Schwemmholtz in den Bächen auf verschiedene Art und Weise beeinflussen.

Nachfolgend wird eine erste statistische Auswertung dargestellt. Bei dieser Auswertung wurde als Zielvariable das Schwemmholtzvolumen definiert. Geprüft wurden 20 erklärende Variablen (mögliche Einflussgrößen) aus Tabelle 4.17. Aufgrund von Streudiagrammen (paarweiser Vergleich zweier Einflussgrößen) der Daten und aufgrund der Korrelationen unter den verschiedenen Variablen untereinander wurde die Anzahl der erklärenden Variablen auf sechs reduziert. Mittels Rückwärtsselektion (d.h. Größen mit wenig oder keinem Einfluss werden sukzessive nicht mehr berücksichtigt) ergab sich ein lineares Regressionsmodell, welches auf den zwei Variablen Bestandesstabilität und Totholzmenge im Bestand basiert. Beide Variablen üben einen signifikanten Einfluss auf das Schwemmholtzvolumen aus (Tab. 4.18).

Die Formel des Modells lautet:

schwemmholtz ~ stabil + tottotal

wobei: schwemmholtz = Summe der Volumen aller Schwemmholtzstücke pro Bach (m³)

stabil = Anzahl stabile Bestockungen pro Bach

tottotal = Summe aus stehendem und liegendem Totholz in m³/ha pro Bach

Tab. 4.18: Kennwerte des linearen Regressionsmodells.

	Schätzung	Standardfehler	t-Wert	P-Wert
Intercept	81.7896	12.6775	6.452	0.00035 ***
stabil	-2.5321	0.7785	-3.253	0.01401 *
tottotal	0.6955	0.1382	5.033	0.00151 **

Die vollständigen Angaben zum Modell finden sich im Anhang. Die beiden Variablen Bestandesstabilität und Totholzmenge sind wichtige, signifikant erklärende Faktoren im Zusammenhang mit dem Schwemmholtz im Bach. Dabei ist die Bestandesstabilität negativ korreliert (d.h. mit abnehmender Bestandesstabilität nimmt die Schwemmholtzmenge zu) und die Totholzmenge ist positiv korreliert (d.h. mit zunehmender Totholzmenge nimmt die Schwemmholtzmenge zu). Die Tatsache, dass bei der Rückwärtsselektion nur diese beiden Variablen übrig blieben, weist darauf hin, dass die anderen Variablen in dieser Betrachtung offenbar keinen oder nur einen geringen Zusammenhang mit der Schwemmholtzmenge haben.

In den vorliegenden Daten steckt noch erhebliches Potential für weitere statistische Auswertungen. Insbesondere auch im Zusammenhang mit der Frage, durch welche Faktoren die Bestandesstabilität oder der Totholzanfall im Bestand beeinflusst wird.

4.7 Schwemmholtz in Wildbächen während der Unwetter 2005

Vorbemerkung: Dieses Kapitel ist zu wesentlichen Teilen identisch mit einem entsprechenden Beitrag zur Ereignisdokumentation Unwetter 2005 (BAFU, in Vorber.). Die Arbeiten wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes ausgeführt und werden aus aktuellem Anlass auch im Rahmen des Beitrages zur Ereignisanalyse publiziert.

Im August 2005 ereigneten sich in weiten Teilen der Schweiz grosse Unwetter. Die Verklauung von Schwemmholtz an Brücken und Wehren führte an verschiedenen Orten zu einer Verschärfung der Hochwassersituation. In Bezug auf die Herkunft des Holzes stellte sich die Frage, zu welchem Teil das Holz aus frischen Uferanbrüchen oder Hangrutschungen entlang der grossen Gewässer stammte und zu welchem Teil es aus deren Zubringern, den Wildbächen, kam. Als Beitrag zur Beantwortung dieser Fragen wurde der Schwemmholtztransport in vier Wildbächen untersucht, in welchen im Rahmen des vorliegenden Projektes vor dem Ereignis bereits Erhebungen durchgeführt worden waren. Somit konnte in diesen Bächen die Schwemmholtzsituation nach dem August 2005 nochmals untersucht werden mit dem Ziel, eine Aussage zum Schwemmholtztransport während der Unwetter machen zu können. Weitere Hinweise über die Herkunft und die Beschaffenheit des Schwemmholtzes wurde mit der detaillierten Untersuchung ausgewählter Schwemmholtzablagerungen entlang der Flüsse und Seen gewonnen.

Die Fallsstudien wurden an den folgenden vier Wildbächen ausgeführt: Brüggenwaldbach bei Gersau/SZ, Steinibach bei Flühli/LU, Seeblibach bei Romoos/LU und Büetschligraben bei Schangnau/BE (Tab. 3.1, Abb. 3.4). Verschiedene Teilarbeiten sollten zu einem Gesamtbild über die Veränderungen im Bach durch die Unwetter und zum Schwemmholtztransport füh-

ren: Neuvermessung von Querprofilen, Beurteilung neuer und alter Verklausungen, Erhebung der durch die Unwetter ausgelösten Eintragsprozesse sowie diverse Fotovergleiche.

Die Neuvermessung von Querprofilen (11 pro Bach, d.h. insgesamt 44) sollte Aufschluss geben über die Intensität allfälliger Geschiebetransportprozesse und damit auch allgemein über die Ereignisgrösse im entsprechenden Bach. Sie ergab folgendes Bild: bei ungefähr 20% der Querprofile wurden deutliche Veränderungen der Sohlenlage festgestellt, bei 80% keine oder nur unwesentliche (Abb. 4.15). Dies wird dahingehend interpretiert, dass die Abflüsse in den Wildbächen nicht extrem waren.

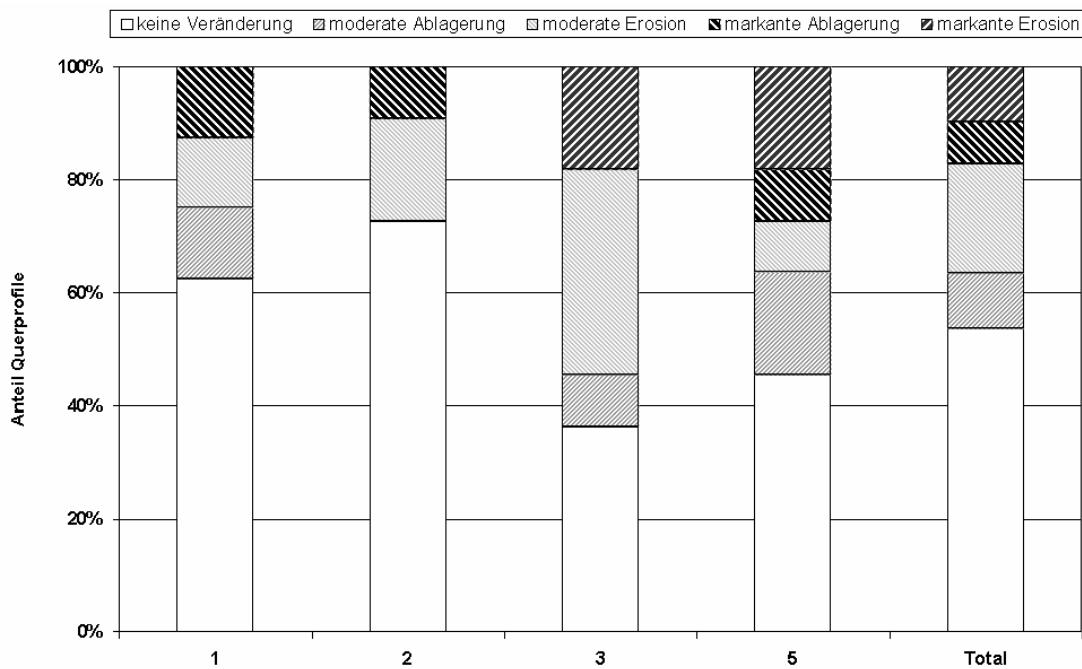


Abb. 4.15: Veränderungen der Querprofile in den untersuchten Bachabschnitten infolge der Unwetter vom August 2005 (Abschnitte von 1 km Länge, Bäche gemäss Tab. 3.1).

Die Verklausungen wurden deshalb neu beurteilt, weil Veränderungen dieser Totholzstrukturen Hinweise zum Schwemmholttransport im Bachlauf geben können. Aufgrund der Erhebungen vor dem Unwetter sind sie eindeutig lokalisierbar und zu jeder Verklausung existiert ein Foto. Zwischen den Bächen zeigten sich einige Unterschiede. Während im Brüggenwaldbach keine Veränderungen feststellbar waren, brachen im Büetschligraben vier von acht Verklausungen auf - namentlich in der oberen Bachhälfte. Insgesamt über alle Bäche wurden jedoch nur bei 20 % der Verklausungen markante Veränderungen festgestellt. Das Resultat weist auf eher geringen Schwemmholttransport hin, bzw. auf Transport von Holz über mehrheitlich nur kurze Strecken.

In allen vier Wildbächen zusammen wurden insgesamt 55 neue geomorphologische Prozesse festgestellt, welche Bodenmaterial und/oder Holz in die Bäche eintrugen: 16 Ufererosionsstellen, 18 Uferrutschungen, 16 aktive Seitengräben/-runsen und 6 Hangrutschungen. Bei etwa der Hälfte dieser Prozesse wurde Holz eingetragen. Das Holzvolumen betrug für alle Bäche zusammen ungefähr 13 m^3 . Dies entspricht ungefähr 4% der Totholzmenge, welche vor dem Unwetter in den Bachläufen lag. Der Eintrag fand jedoch praktisch nur im Steinibach (Bach 2) und im Büetschligraben (Bach 5) statt (Abb. 4.16), obschon sich auch in den anderen Bächen Eintragsprozesse wie Ufererosion, Rutschungen etc. ereignet hatten.

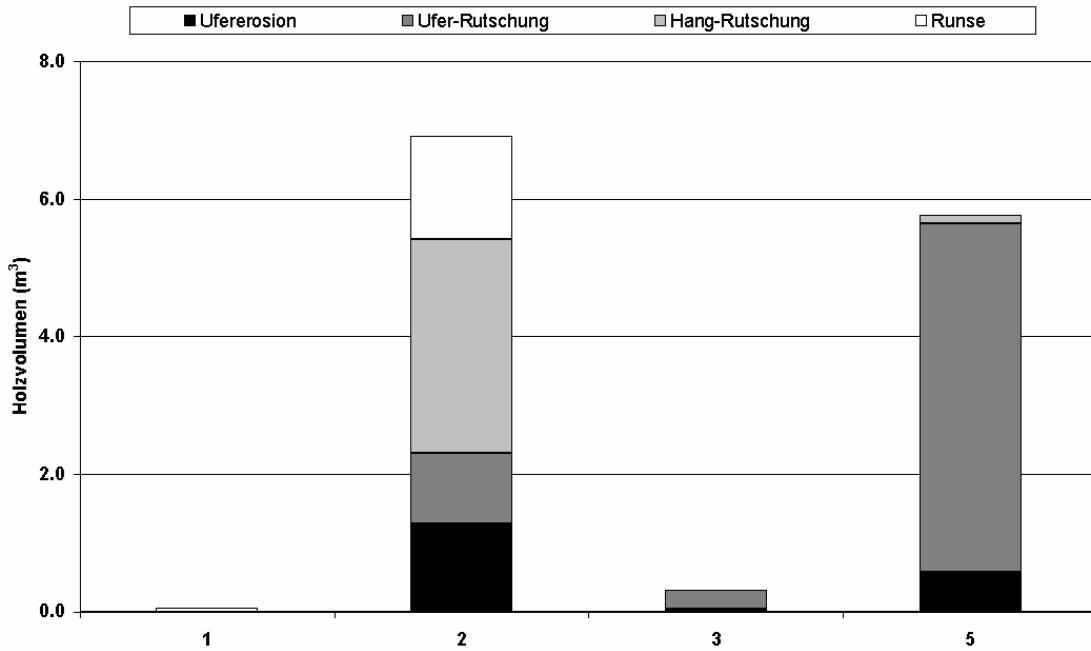


Abb. 4.16: Holzeintrag durch verschiedene Eintragsprozesse infolge der Unwetter 2005 in den vier untersuchten Wildbächen (Abschnitte von 1 km Länge, Bäche gemäss Tab 3.1).

Die Veränderungen der Querprofile, die gutachtliche Beurteilung der Abflussspuren und auch die Aussagen der Anwohner weisen darauf hin, dass in den betrachteten Wildbachabschnitten zwar erhöhte, jedoch nicht extreme Abflüsse stattfanden. Insbesondere die Beobachtungen an den Verklausungen führen zum Schluss, dass zwar innerhalb der Abschnitte lokal an verschiedenen Orten Schwemmholttransport stattfand, jedoch jeweils nur über kürzere Strecken. Es wird geschätzt, dass insgesamt deutlich weniger als 10% des in den untersuchten Bachabschnitten liegenden Schwemmholtzes bzw. weniger als ca. $5 m^3$ durch das Unwetter aus den Abschnitten ausgetragen wurde. Hingegen wurden durch die Starkniederschläge zahlreiche Eintragsprozesse ausgelöst, welche neben erheblichen Geschiebemengen auch Holz in das Gerinne eintrugen.

5. Diskussion

5.1 Allgemeines

In Kapitel 1.2 sind die Fragen und Ziele des Projektes aufgeführt. Die wichtigste Frage ist jene nach dem Einfluss der Bestockung auf das Holzvorkommen im Bachbett. Die weiteren Projektfragen basieren zu wesentlichen Teilen auf den Antworten zu dieser Hauptfrage.

Wie viel Schwemmholt in einem Bachabschnitt liegt, wird nicht nur durch die Bestockung, sondern auch durch weitere wichtige Einflussgrößen bestimmt. Dazu gehören die Topographie, die Transportaktivität des Baches, die Aktivität in Bezug auf die Eintragsprozesse sowie allfällige Unterhaltsmaßnahmen in der Vergangenheit im Bachbett. Es ist somit nahe liegend, dass für die Beantwortung der Projektfragen zu vielen Einflussgrößen Daten erhoben werden müssen. Dem entsprechend war der Katalog der zu erhebenden und auszuwertenden Daten gross. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse diskutiert.

Im Rahmen dieses Projektes werden ausschliesslich der Einfluss der Bestockung auf das Schwemmholtvorkommen sowie damit verwandte Fragen bearbeitet. Der Prozess des Schwemmholttransports im Gerinne und die damit verbundenen Gefahren während Hochwasserereignissen sind nicht Teil des Projektes. Somit können Fragen nach der Gefahrenreduktion durch allfällige Eingriffe in den Bestockungen nur indirekt bearbeitet werden. Und zwar mittels Annahme, dass das Schwemmholtvorkommen im Bachbett und das Holzpotential, welches am Ufer steht oder liegt, als Gradmesser dient für eine mögliche Gefährdung im Falle von Hochwasserabflüssen.

5.2 Methodik/Aufnahmeverfahren

Zu Beginn des Projektes stellten sich grundsätzliche Fragen in Bezug auf die Untersuchungsmethodik: sollte in wenigen Bächen intensive und aufwändige Erhebungen durchgeführt werden, oder aber sollten viele Bäche untersucht werden, dafür weniger intensiv? Das erste Konzept gewährleistet, dass alle wesentlichen Einflussgrößen mit ausreichender Exaktheit bearbeitet werden können. Hingegen kommt aus Gründen des Aufwandes nur die Untersuchung einer kleinen Zahl von Bächen in Frage, und damit nähme das Projekt den Charakter einer Zusammenstellung einiger weniger Fallstudien an. Im zweiten Fall verspricht eine hohe Anzahl untersuchter Objekte zwar bessere Chancen auf statistische Auswertbarkeit der Resultate, jedoch können nur wenige Parameter erhoben und untersucht werden. Unter Abwägung aller Vor- und Nachteile wurde entschieden, eine Zwischenvariante anzuwenden, d.h. es sollten in 10 Bächen jeweils Bachabschnitte von je einem Kilometer Länge im Detail untersucht werden. Die Abschnitte wurden dabei so gelegt, dass die Möglichkeit für Holzeintrag im Bach durch Hochwasser oder Murgang von der Oberwasserseite her eingeschränkt war. Damit sollte gewährleistet werden, dass das im Abschnitt vorgefundene Schwemmholt wirklich ein Ergebnis der Bestockung und der Eintragsprozesse des entsprechenden Abschnittes ist. Ganz ausgeschlossen konnte der Transport von oben in den Abschnitt hinein jedoch nicht.

Zu Beginn des Projektes sowie auch noch im Verlauf der ersten Felderhebungen musste erheblicher Zeitaufwand in die Aufnahmemethodik investiert werden. Namentlich die Beschreibung der Aufnahme- und Beurteilungskriterien erforderten intensive Diskussionen und mussten mehrmals überarbeitet werden. Die Erarbeitung einer Feldanleitung (Anhang A.1) für die Erhebungen war ein wichtiger Garant dafür, dass die zahlreichen Parameter im Verlauf der Feldsaison und auch über die insgesamt mehr als drei Jahre dauernden Erhebungen immer in der gleichen Art und Weise gemessen und beurteilt wurden.

5.3 Bach-eigenschaften

Ein wichtiges Ziel bei der Auswahl der Untersuchungsobjekte bestand darin, Bäche mit unterschiedlichen Bestockungen zu finden, welche jedoch in Bezug auf wesentliche Einflussfaktoren auf das Schwemmholtvorkommen (z.B. Topographie, Eintragsprozesse, Ereignisaktivität) möglichst ähnlich sind. Dies gelang jedoch nur ansatzweise, und deshalb ist es wichtig, die vorhandenen Unterschiede zwischen den 10 Bachabschnitten klar darzulegen. Die Ergebnisse zu den Bachcharakteristika sind in Kapitel 4.1 beschrieben.

Bei den untersuchten Bächen handelt es sich um Wildbäche mit Einzugsgebietsflächen von 0.8 bis 3.0 km² (in Bezug auf das untere Ende des betrachteten Abschnittes). Sie liegen in verschiedenen Regionen der schweizerischen Voralpen und Alpen (Abb. 3.4) in Höhenlagen von etwa 850 m bis 1600 m ü.M. Folgende Bach-eigenschaften können sich auf das Schwemmholtvorkommen auswirken:

- Längsneigung, Rauigkeit und Hindernisse im untersuchten Bachabschnitt; mögliche Auswirkungen die Transportkapazität von Schwemmholt durch Hochwasser oder evtl. auch Murgänge.
- Neigungsverhältnisse in den Einhängen; mögliche Auswirkungen auf die Aktivität der Eintragsprozesse und auf die Eintragsrate.
- Quantifizierung von früheren Eintragsprozessen; als Hinweis auf die Eintragsrate.

Längsneigung, Rauigkeit und Hindernisse im Bach sind Faktoren, welche den Transport von Geschiebe und Schwemmholt beeinflussen können. Man kann davon ausgehen, dass bei ungefähr ähnlichen Abflussbedingungen in Gerinnen mit grosser Längsneigung und kleiner Rauigkeit mehr transportiert werden kann als in flachen und rauen Gerinnen. Werden diese beiden Faktoren gleichwertig berücksichtigt, ergibt sich für unsere Bäche eine grobe qualitative Einteilung (Tab. 5.1). Hohe Transportkapazität weisen die Bäche 7 und 10 auf, eher geringe Transportkapazität die Bäche 3, 4, 8 und 9. Geringe Transportkapazität kann bedeuten, dass bei vergleichbarer Abflusstätigkeit (vgl. Ereignischronik) die Verweildauer von Holz im Bach an einer Stelle und damit auch die Gesamtmenge von Holz im Abschnitt grösser ist als in Bächen mit grösserer Transportkapazität, wo das Holz leichter ausgeräumt werden kann.

Tab. 5.1: Qualitative Bewertung der Transportkapazität aufgrund der vorhandenen Hindernisse im Gerinne (grobe Blöcke, Engstellen) und der Längsneigung (Gefälle). Je dunkler die Zellenhinterlegung desto grösser die Transportkapazität. Bachnummern gemäss Tab. 3.1.

wenig Hindernisse	6		7
mässig viele H.	3, 4	2, 5	10
viele Hindernisse		8, 9	1
	geringes Gefälle	mässiges Gefälle	grosses Gefälle

Die Bäche wurden so ausgewählt, dass Eintragsprozesse stattfinden können, resp. dass die Neigungsverhältnisse der Einhänge ausreichend steil sind. Die Vermessungen zeigen, dass die mittleren Neigungen bei allen Bächen mehr als 30° betragen (Median der Pauschalgefälle, Tab. 4.1). Allerdings herrschen in einzelnen Bächen jedoch deutliche steilere Verhältnisse vor als in anderen. Auch wenn in extrem steilen Gebieten nicht notwendigerweise mehr Rutschungen zu erwarten sind, kann jedoch der Eintrag vom Hang in das Gerinne durch Wind, Schneedruck etc. in sehr steilen Gebieten grösser sein als in mässig steilen. Steile Einhänge weisen die Bäche 4, 6 und 8 auf, mässig steile die Bäche 1, 7 und 10, im Verhältnis eher flachere Einhänge die Bäche 2, 3, 5 und 9.

Holz gelangt in das Gerinne, indem es von der Uferbestockung direkt hineinfällt (Wind, Schneedruck) oder indem es durch Eintragsprozesse wie Rutschungen und in Seitenrunsen vom Hang in das Gerinne transportiert wird. Es scheint nahe liegend, dass Holz nur dann

vom Hang in das Gerinne gelangen kann, wenn der Hang ausreichend steil ist und Eintragsprozesse wie Ufererosion, Rutschungen und steile Seitenrinnen stattfinden. Die Anzahl bzw. das Ausmass rezentner Prozesse in den verschiedenen Bächen sollte einen Hinweis zur Aktivität der Eintragsprozesse geben und die Möglichkeit, die Bäche diesbezüglich zu bewerten. Wie erwähnt, gelangt jedoch nur ein Teil des Holzes durch geomorphologische Eintragsprozesse in den Abflussbereich. In Tab. 5.2 ist eine Variante dargestellt, die beobachteten Eintragsprozesse (Abb. 4.1) zu einer Gesamtbeurteilung hinsichtlich der Eintragsaktivität zusammenzufassen. Weiter soll darauf hingewiesen werden, dass im Rahmen des Projektes "Jahrringanalytische Rekonstruktion von Ufererosion und Schwemmhholzaufkommen in Schweizer Wildbächen" in den Bächen 1 und 2 die Prozessgeschwindigkeiten von Rutschungen und Ufererosion untersucht wurden (Hitz et al. 2006).

Tab. 5.2: Qualitative Bewertung der Aktivität von geomorphologischen Eintragsprozessen aufgrund der beobachteten Rutschungen (Hang- und Uferrutschungen) und der Anzahl Laufmeter Ufererosion. Je dunkler die Zellenhinterlegung desto grösser die Aktivität. Bachnummern gemäss Tab. 3.1.

starke Ufererosion	5		3, 4
mässige Ufererosion	9, 10	7	2
schwache Ufererosion	6, 8	1	
	wenig Rutschungen	mässig viele R.	viele Rutschungen

5.4 Holzvorkommen im Bachbett

Entsprechend der Hauptfrage des Projektes nach dem Einfluss der Bestockung auf das Schwemmhholzvorkommen ist die Menge an Totholz im Bachbett die wichtigste Zielvariable. Ein weiteres wichtiges Ziel des Projektes besteht jedoch auch darin, die Schwemmholzsituation in Wildbächen zu beschreiben und Angaben beispielsweise zu den Abmessungen der Holzstücke, der Herkunft und dem Zustand der Stücke zu erarbeiten. Dazu bestehen in der Schweiz noch sehr wenig Unterlagen. Obwohl nur zehn Bachabschnitte untersucht wurden, geben die Ergebnisse dennoch erste Anhaltspunkte zu den Schwemmholzverhältnissen in Schweizerischen Wildbächen.

Die Inventuren in den zehn Wildbachabschnitten von einem Kilometer Länge ergaben Holzmengen von etwa 50 bis 100 m³ natürlichem Schwemmhholz. Viel Schwemmhholz weisen die Bäche 2, 3, 8 und 9 auf, mässig viel die Bäche 6 und 7 und wenig die Bäche 1, 4, 5 und 10. Von was diese Variation des Schwemmholzvolumens (um den Faktor zwei) abhängig ist bzw. welchen Beitrag die ufernahe Vegetation auf das Ausmass von Holz im Bachbett ausübt, ist eine der zentralen Fragen. Wie in Abbildung 4.4 ersichtlich, ist das Holzvorkommen zudem auch innerhalb der Bachabschnitte von 1.0 km Länge nicht gleichmässig verteilt. Die teilweise erheblichen Streuungen dürften massgeblich durch lokalen Eintrag, Hindernisse im Bach (bei Holzanhäufungen) oder auch Stellen mit grosser Transportkapazität begründet sein (wo wenig Holz gefunden wurde). Abbildung 5.1 zeigt den Zusammenhang zwischen der Anzahl Uferrutschungen – einem der wichtigen Eintragsprozesse – und dem Schwemmholzvolumen im entsprechenden Abschnitt. Der Zusammenhang ist zwar signifikant (p -Wert < 0.001), jedoch nicht eng. Das liegt vermutlich daran, dass Holz von einem Abschnitt mit vielen Eintragsprozessen durchaus in darunter liegende Abschnitte mit wenigen Prozessen transportiert werden kann. Allgemein ist der Zusammenhang zwischen der Aktivität der Eintragsprozesse (vgl. Kapitel 4.1) und dem Schwemmholzvolumen weniger eng als angenommen; d.h. die Vermutung "je grösser die Aktivität, desto grösser das Schwemmholzvolumen" stimmt zwar für einige Bäche, für andere jedoch nicht (Tab. 5.3).

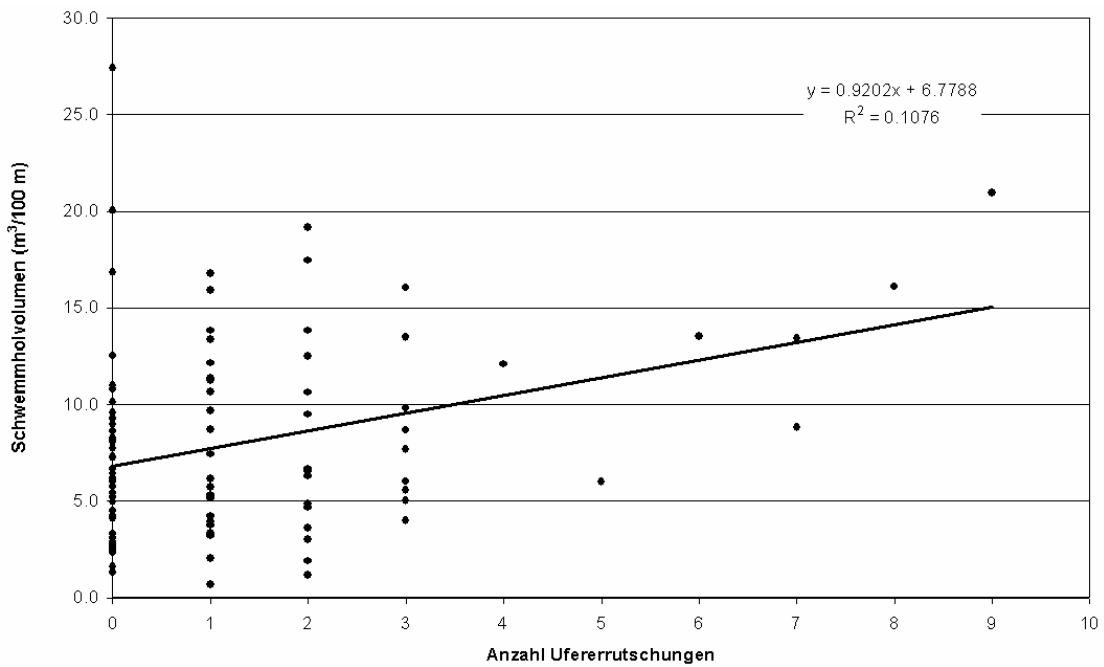


Abb. 5.1: Zusammenhang zwischen der Intensität der Eintragsprozesse und dem Schwemmholtvorkommen pro 100m-Abschnitt ($n= 100$; d.h. alle Abschnitte aller 10 Bäche).

In den untersuchten Bächen wurden viele kleine und wenig grosse Holzstücke gefunden. Dieser Sachverhalt wurde auch in anderen Untersuchungen festgestellt (z.B. Bänziger 1990, Comiti et al. 2006, Gomi et al. 2001). Bei den Abmessungen hat insbesondere die Länge der Holzstücke eine grosse praktische Bedeutung, da sich daraus die Wahrscheinlichkeit einer Verklausung bei einem bestimmten Durchlass ableitet (Lange und Bezzola 2006). Aus der Längenverteilung in Abb. 4.5 kann beispielsweise der Anteil der Holzstücke abgeleitet werden, welche eine bestimmte Länge überschreiten. Die Stückgrösse wirkt sich sowohl positiv als auch negativ aus. Einerseits ist bei einem langen Holzstück die Wahrscheinlichkeit einer Verklausung grösser als bei einem kurzen. Andererseits trägt ein langes Stück bis zu einem bestimmten Abfluss zur Stabilisierung des Bachbettes bei. Diese stabilisierende Wirkung kann bei Gefahrenbeurteilungen in der Regel nicht berücksichtigt werden, da sie unter anderem auch abhängig ist vom Holzzustand, resp. dem Grad der Vermorschung. Zudem kann nicht genau bestimmt werden, bei welchem Abfluss das Stück in Bewegung gerät und dann allenfalls umso grössere Schäden verursacht.

Besonders gefährlich sind - sobald sie transportiert werden – ganze Bäume und Stammstücke mit Stöcken, da sie häufigen Erfahrungen zufolge Kristallisierungspunkt von Verklausungen an Engstellen sind. Sie machen in allen Bächen zusammen etwa 33% der Anzahl Holzstücke aus, und in Bezug auf das Holzvolumen sogar 57%.

Der Holzzustand und damit die Festigkeit der Totholzstücke im Bachbett ist relevant für die Gefahr, die von Schwemmholt ausgeht. Es kann davon ausgegangen werden, dass namentlich Holzstücke mit fortgeschrittenener Vermorschung (Zustand 3) im Verlauf des Transportes rasch zerbrechen und keine Verklausungen auslösen können. Besteht jedoch bereits eine Verklausung, können auch angeschwemmte Stücke mit schlechtem Holzzustand zum Schaden beitragen. Im Weiteren wurde festgestellt, dass in Bächen mit wenig Hindernissen (Bäche 6 und 7) vergleichsweise mehr Stücke mit Zustand 1 (gute Festigkeit) vorkommen und in Bächen mit vielen Hindernissen (Bäche 1, 8 und 9) eher weniger Stücke mit Zustand 1. Dies könnte darauf hinweisen, dass die Verweildauer der Holzstücke in Bächen mit wenig Hindernissen und entsprechend höherer Transportkapazität kleiner ist. Im Rahmen des Projektes "Jahrringanalytische Rekonstruktion von Ufererosion und Schwemmholtzaufkommen in Schweizer Wildbächen" wurden in den Bächen 1 und 2 Schwemmholtstücke datiert (Hitz et

al. 2006). Dabei wurden Holzstücke gefunden, die vor bis zu 35 Jahren abgestorben waren. Erste Analysen zeigten, dass in den verschiedenen Zustandskategorien grosse Streuungen hinsichtlich der Verweildauer bestehen. Weitere Analysen in diesem Zusammenhang werden derzeit durchgeführt.



Abb. 5.2: Beispiel einer Verklausung.

Die Angaben zur Holzart (Nadel- bzw. Laubholz) sind mit Vorsicht zu interpretieren, da immerhin zwischen 20 und 30% der Stücke nicht eindeutig einer Holzart zugeordnet werden konnten. Dies betraf insbesondere Stöcke und kleinere, ältere Stücke. Nach ersten Auswertungen der Daten kann kein Zusammenhang zwischen der Holzart und den Parametern Zustand, Eintrag und Mobilität abgeleitet werden. Es ist lediglich ersichtlich, dass bei Stücken mit nicht bestimmbarer Holzart die Herkunft vermehrt nicht bestimmt werden konnte und diese zudem eher mobil sind. Parallelen sind jedoch zu finden bezüglich der Holzartenverteilung im Bachbett und jener auf dem Uferstreifen und in den Einhängen. Bei den Bächen 6, 7 und 10 wurde ein besonders hoher Anteil Nadelholz im Bachbett wie auch in den Einhängen gefunden. Dies stimmt für die Bäche 6 und 10 auch in Bezug auf die Baumartenverteilung des Uferstreifens. Davon weicht jedoch Bach 7 ab, indem dort die Bestockung des Uferstreifens von jener des Bestandes abweicht und deutlich laubholzreicher ist.

In Bezug auf allfällige Pflegemassnahmen wäre es interessant zu wissen, durch welche Eintragsprozesse besonders viel Holz in die Gerinne eingetragen wird. Der Eintragsprozess konnte jedoch nur bei etwa 18% der Holzstücke, resp. 45% des Holzvolumens bestimmt werden. Dies war namentlich bei ganzen Bäumen, grossen Stücken und frisch eingetragenen Holzstücken (Zustand 1) der Fall. Die drei Prozesskategorien "Rutschungen", "Ufererosion" und "Wind/Fall" sind jeweils mit ca. 6 % für den Eintrag verantwortlich. Es ist jedoch fraglich, ob aufgrund eines so kleinen Anteils mit bekanntem Eintrag auf die wirklichen Eintragsverhältnisse geschlossen werden kann.

Die Mobilität der einzelnen Holzstücke in den Bächen wurde beurteilt, um einen Hinweis zu erhalten, welcher Anteil des Holzes relativ leicht und welcher Anteil schwer mobilisierbar ist, d.h. erst bei grossen Abflussmengen. Die Ergebnisse zeigen, dass über alle Bäche etwa die

Hälfte der Hölzer oder etwa ein Drittel des Holzvolumens (immobile Stücke sind im Mittel grösser, Tab. 4.2) leicht mobilisierbar sind.

Ein Anteil von 16% aller Holzstücke in den Bächen sind Bestandteile von Verklausungen (Totholzstrukturen bestehend aus zwei oder mehr Holzstücken mit gemeinsamer Wirkung auf den Abfluss). Insgesamt wurden 94 Verklausungen in den zehn untersuchten Wildbächen gefunden, d.h. im Durchschnitt ungefähr alle 100 m eine. Allerdings ist das Vorkommen von Bach zu Bach sehr unterschiedlich. Welche Faktoren die Häufigkeit von Verklausungen steuern, kann anhand der vorliegenden Daten nicht eruiert werden. Beispielsweise liesse sich anhand der Bäche 2, 3 und 4 ein Zusammenhang zwischen den vielen Eintragsprozessen und der hohen Anzahl Verklausungen erkennen. Allerdings wurden auch in den Bächen 8 und 9 viele Verklausungen beobachtet, obwohl dort nur wenig Eintragsprozesse protokolliert sind. Anderseits sind dort viele Hindernisse wie Engstellen und grobe Blöcke beobachtet worden. Die Einschätzungen bei den einzelnen Verklausungen sind diesbezüglich etwas aufschlussreicher: Sie zeigen, dass ungefähr gleich viele Verklausungen durch Engnisse und/oder Hindernisse im Bach wie durch konzentrierten Holzeintrag in das Gerinne entstanden sind.

5.5 Bestockung

5.5.1 Bestockung auf dem Uferstreifen

Durch extreme Abflüsse werden Prozesse wie Ufererosion und Uferrutschungen ausgelöst. Oft kommt dadurch zum Holz, welches bereits vorher im Bachbett lag, frisches Holz aus der Uferbestockung hinzu. Auch während der Zeit zwischen den einzelnen Unwetterereignissen ist die Bestockung, welche sich unmittelbar am Ufer befindet, eine wesentliche Lieferantin für Holz in das Gerinne. Eine Inventur auf einem schmalen Streifen entlang der Ufer (ein Meter breit) sollte Aufschluss geben über die Beschaffenheit dieser Bestockung.

Zwischen 18 und 156 m³ Holzvolumen stehen auf den Uferstreifen der untersuchten Bäche. Viel Holz auf dem Uferstreifen weisen die Bäche 1 und 9 auf, mässig viel die Bäche 2, 4 und 8 und wenig Holz die Bäche 3, 5, 6, 7 und 10. Die ermittelten Holzvolumen sind zum Teil erheblich, und – wie erwähnt – können sie im Verlauf von Hochwasser- oder Murgangereignissen leicht zu Schwemmholt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass nicht die gesamte Holzmenge, sondern nur ein Teil dieses Holzes effektiv in den Abfluss gelangt. Wie gross dieser Anteil ist, hängt von der Intensität der Erosionsprozesse ab (prozessabhängig: Hochwasser/Murgang). Durch Ufererosion gelangen während Hochwassereignissen tendenziell grosse Stücke, insbesondere ganze Bäume mit Stöcken in den Abfluss. Diese weisen zudem eine hohe Festigkeit auf. Bei kleinen, nicht murfähigen Gerinnen stellt sich allerdings die Frage, ob diese Stücke transportfähig sind.

Wird das Holzvolumen auf den Uferstreifen auf die entsprechende Fläche von 2 mal 1000 m² (Bachlänge 1000 m, Streifenbreite 1 m) hochgerechnet, ergeben sich Hektarvorräte von ungefähr 90 bis über 700 m³ pro Hektare. Im Allgemeinen sind die Werte jedoch deutlich tiefer als jene für die Bestandesvorräte in den Einhängen. Dies dürfte daran liegen, dass die Bestockung entlang der Ufer durch Erosionsprozesse und Rutschungen aufgelockert ist.

Die bisherigen Auswertungen lassen keinen direkten Zusammenhang erkennen zwischen dem Holzvolumen oder dem Nadelholzanteil auf dem Uferstreifen und demjenigen des Schwemmholtzes im Bachbett. Hingegen gibt es mindestens teilweise Unterschiede zu der Bestockung in den Einhängen: Vorräte, Mittelstamm (Volumen pro Baum) und Nadelholzanteil sind im Bestand höher als auf dem Uferstreifen. Die Baumarten Erle, Weide und Ulme kommen praktisch ausschliesslich auf dem Uferstreifen vor. Beim Nadelholz verändert sich das Verhältnis zwischen Fichte und Tanne vom Uferstreifen zum Bestand, indem die Tanne am Ufer relativ stärker vertreten ist als im Bestand.

5.5.2 Bestockung in den Bacheinhängen

Damit der Einfluss der Bestockung auf das Schwemmholtzvorkommen abgeschätzt werden kann, muss die Bestockung sowohl in quantitativer wie qualitativer Hinsicht beschrieben werden. Im Zusammenhang mit der quantitativen Beschreibung (insbesondere Vorräte, Stammzahlen, Baumartenanteile) wurde ein Stichprobenverfahren angewendet. Die qualitative Beschreibung der Bestockung erfolgte aufgrund von Bestandesbeschreibungen.



Abb. 5.3: Dichte, vorratsreiche Bestockung in den Einhängen eines Wildbaches (Geissbach SG).

Vorrat

In den ufernahen Bestockungen der untersuchten Bäche wurden Vorräte zwischen 147 und 627 m³/ha ermittelt. Vergleichsweise hohe Vorräte stocken in den Einhängen der Bäche 2, 5 und 8, mässig hohe in den Bächen 1, 4 und 9. Tiefe Vorräte finden sich in den Bächen 3, 6, 7 und 10. Die Bäche mit hohen Vorräten verfügen über einen hohen Privatwaldanteil (Kap. 3.3.3). In sieben von zehn Bächen liegen die ermittelten Vorräte leicht bis wesentlich über den Vorräten nach LFI2 der entsprechenden Produktionsregion (Brassel und Brändli 1999). In zwei Bächen liegen sie leicht, in einem wesentlich unter dem LFI-Vorrat. Insgesamt stocken also in den Einhängen der untersuchten Wildbäche relativ hohe Vorräte. Einer der Gründe dafür dürfte darin liegen, dass in den steilen Hängen nur noch wenig Holz genutzt wird. Darauf weisen auch Ergebnisse der qualitativen Bestandesbeurteilungen hin:

- in nur 15% der beurteilten Bestände wurden Anzeichen von Nutzungen festgestellt, welche weniger als 20 Jahre zurückliegen
- ein grosser Anteil der beurteilten Bestände wurde als Baumholz 2 und 3 beurteilt; nur sehr wenig Jungwaldbestände kommen vor

Aus den vorliegenden Daten kann kein direkter Zusammenhang zwischen dem Bestandessvorrat und dem Holzvolumen im Bachbett abgeleitet werden.

Baumarten

In den Einhängen der verschiedenen Bäche wurden mittels Stichprobeninventur Laubholzanteile von 0 bis maximal 46 Volumen-% ermittelt. Dabei machen die Buche, Esche und der Ahorn den grössten Anteil aus. Im Unterschied zur Bestockung des Uferstreifens fehlt die Erle im Bestand weitgehend. Im Rahmen der Bestandesbeurteilungen wurden die Bestockungen bezüglich des Nadelholz- bzw. Laubholzanteiles beurteilt. Gemäss dieser Beurteilung sind in vier von zehn Bächen die Bestockungen laubholzreich (1, 3, 4 und 8), in drei Bächen nadelholzreich (2, 6 und 9) und in weiteren drei Bächen stocken praktisch reine Nadelholzwälder (6, 7 und 10). Diese gutachtliche Beurteilung stimmt gut mit den Ergebnissen der Stichprobeninventur überein. Auch in Bezug auf die Baumartenverteilung resp. den Nadelholzanteil kann kein direkter Zusammenhang zum Schwemmholtzvolumen im Bachbett hergestellt werden.

Totholz

Ein Inventar zum Totholz in den Beständen wurde deshalb durchgeführt, weil Totholz einerseits (zusammen mit lebendem Holz) durch geomorphologische Eintragsprozesse in den Bach gelangt. Andererseits weist die vorhandene Totholzmenge im Bestand darauf hin, wie viel Holz im betreffenden Bestand durch Wind, Schneedruck und natürliche Absterbeprozesse entstehen und damit auch ohne Eintragsprozesse direkt in den Abflussbereich fallen kann.



Abb. 5.4: Totholz im ufernahen Bestand.

In den Einhängen der untersuchten Bäche wurden insgesamt 20 bis 70 m³/ha Totholz vorgefunden. Damit liegen diese Werte über jenen gemäss Landesforstinventar (LFI), welche im LFI2 12 m³/ha in den Voralpen und 20 m³/ha in den Alpen (Brassel und Brändli 1999), im LFI3 29 m³/ha im Jura und 24 m³/ha im Mittelland (Böhl und Brändli, accepted) betragen. Allerdings ist ein Vergleich nur bedingt zulässig, da jeweils eine etwas abweichende Erhebungsmethode angewendet wurde. Insgesamt können jedoch die untersuchten Bacheinhänge als totholzreich bezeichnet werden. Viel Totholz weisen die Bäche 2 und 9 auf, mässig viel

die Bäche 3, 7 und 8, wenig Totholz die Bäche 1, 4, 5, 6 und 10. In einer ersten Betrachtung zeigt sich, dass Bäche, deren Bestockungen viel Totholz aufweisen, oft auch viel Schwemmholtz im Bachbett enthalten.

Stabilität

In Bezug auf die Stabilität der Bestockung in den Einhängen kann vermutet werden, dass instabile Bestände mehr Totholz hervorbringen als stabile Bestände. Der Grund zu dieser Hypothese liegt darin, dass instabile Bestockungen den Einwirkungen wie Wind und Schnee weniger Widerstand entgegen bringen können. Demzufolge ist zu erwarten, dass in instabilen Beständen mehr Bäume diesen Prozessen zum Opfer fallen und so vermehrt Totholz entsteht. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Totholzsituation, wie sie derzeit beobachtet wird, das Ergebnis eines Bestandesbildes aus früherer Zeit ist. Demzufolge ist ein direkter Schluss zwischen Bestand und Totholz nicht zulässig.

Die Stabilitätskriterien "Schlankheitsgrad" und "Schäden" wurden in nur sehr wenigen Fällen als kritisch beurteilt. Bei den Kriterien "Kronenlänge", "Verankerung" und "Schiefstand" traten in den angrenzenden Wäldern einiger Bäche gewisse Defizite auf. Basierend auf den Beurteilungen der einzelnen Kriterien wurde eine zusammenfassende Beurteilung der Stabilität pro Bestand erstellt. Diese zeigt, dass die Stabilität der ufernahen Bestockungen der untersuchten Bäche zwar mehrheitlich als unkritisch betrachtet werden kann. Trotzdem sind Unterschiede zwischen den verschiedenen Bächen erkennbar. Verhältnismässig wenig Stabilitätsprobleme weisen die Bäche 1 und 2 auf, mässig viele die Bäche 3, 4, 5, 6, 9 und 10. Viele Probleme weisen die Bäche 7 und 8 auf. Bei einer ersten Betrachtung zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Bestandesstabilität und dem Schwemmholtzvorkommen; d.h. in Bächen, wo die Stabilität der Bestockung besser war, wurde weniger Schwemmholtz im Bachbett gefunden.

Verjüngung

In den ufernahen Bestockungen der verschiedenen Bäche wurden unterschiedliche Verhältnisse in Bezug auf die Verjüngung vorgefunden. Bei der Mehrzahl der beurteilten Flächen ist die Verjüngung jedoch spärlich. In etwa der Hälfte der Bäche sind namentlich beim An- und Aufwuchs (Pflanzen bis 40 cm Höhe) sogar erhebliche Lücken vorhanden. Erosion und Schneegleiten sind häufige Gefahren für die Verjüngung in den steilen Bacheinhängen. Dazu kommt in vielen Fällen das Wild. Die Verjüngung wird gemäss den Beobachtungen aber auch durch Lichtmangel stark eingeschränkt, der von den teilweise hohen Vorräten bzw. den seltenen Eingriffen in die Bestockung herkommt. Moderholz in den Einhängen hat Vor- und Nachteile. Einerseits verbessert es die Chancen der Verjüngung auf Standorten mit grosser Vegetationskonkurrenz, andererseits kann es in den Bach eingetragen werden. Es ist klar, dass zwischen der Verjüngungssituation und dem Schwemmholtzvolumen aus den vorliegenden Daten kein direkter Zusammenhang sein kann. Denn die Verjüngung von heute wird zum Bestand von morgen, und erst dieser kann einen Einfluss auf das Schwemmholtz im Bachbett ausüben.

Die Beurteilung der Verjüngungssituation und der Gefahren für die Verjüngung wurde jedoch deshalb vorgenommen, weil diese Aspekte wesentlich sind für die mittel- bis langfristige Entwicklung der Bestockung. Eine ausreichende Verjüngung – nicht nur mengenmässig sondern auch in Bezug auf die erforderlichen Baumarten – ist Voraussetzung für eine nachhaltige Schutzwirkung der Bestockung, insbesondere auch gegen Rutschungen und Erosion.

Allgemein/Massnahmen

Geht man davon aus, dass der Zustand der Bestockung einen Einfluss ausübt auf das Schwemmholtzvorkommen und damit indirekt auch auf die Gefahr durch Schwemmholtz während Unwetterereignissen, stellt sich die Frage nach allfälligen lenkenden Pflegemassnahmen. Dabei geht es in der Regel darum (wo es notwendig ist und mit minimalen Eingriffen), den aktuellen Bestand in die Richtung einer Bestockung zu lenken, welche den minimalen Anforderungen genügt. Anforderungen bezüglich Naturgefahren sind in der Publikation "Nachhaltigkeit im Schutzwald" (BUWAL 2005) formuliert. Erfahrungen und Erkenntnisse aus

dem vorliegenden Projekt sollen helfen, diese Anforderungen zu bestätigen bzw. zu präzisieren. Um die Massnahmen abschätzen zu können, d.h. vom Ist- zum Sollzustand zu gelangen, sind Kenntnisse zu qualitativen Bestandesmerkmalen von Bestockungen in Gerinneinhängen erforderlich. Dazu gehören die Bestandesstruktur, die Baumartenverteilung, der Deckungsgrad, die Verjüngung, die Stabilität etc. Diese wurden für zehn Bäche ermittelt und dienen für die Abschätzung der notwendigen Massnahmen.

5.6 Gesamtbeurteilung

Um die Übersichtlichkeit zu verbessern sind in Tab 5.3 die Ergebnisse für einige wichtige Parameter mit grafischen Symbolen dargestellt. Damit soll der Vergleich zwischen den Bächen auch auf optischer Ebene ermöglicht werden. Schnell zeigt sich, dass die Interpretation der Daten nicht einfach ist. Zu viele Parameter, welche sich teilweise gegenseitig beeinflussen, kommen als Einflussgröße auf das Schwemmholtzvorkommen in Frage.

Tab. 5.3: Zusammenfassung der Resultate für die Bäche 1 bis 10 (Tab.3.1) in Klassen. • = "wenig", ● = "mittel", ○ = "viel".¹⁾ Anzahl Bestände mit mässiger und schlechter Stabilität, ²⁾ Anzahl Bestände mit Nadelholzanteil $\geq 50\%$, ³⁾ Anzahl Bestände mit Entwicklungsstufe Bh3, ⁴⁾ Anzahl einschichtige Bestände, ⁵⁾ Anzahl Bestände ohne Eingriffe (bis max. 20 Jahre zurückliegend). Graue Zellenhinterlegung: Variablen des statistischen Modells (Kap. 4.6).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Schwemmholtz	•	●	●	•	•	●	•	●	●	•
Aktivität Rutschungen und Erosion	•	●	●	●	●	•	●	•	•	•
Transportkapazität (● = hohe Transportkapazität)	●	●	•	•	●	●	●	•	•	●
Gebiete mit steilen Neigungen	●	•	•	●	•	●	●	●	•	•
Holzvorrat auf Uferstreifen	●	●	•	●	•	•	•	●	●	•
Holzvorrat im Bestand	●	●	•	●	●	•	•	●	●	•
Totholz (stehend und liegend)	•	●	●	•	•	•	●	●	●	•
instabile Bestockungen ¹⁾	•	•	●	●	●	●	●	●	●	●
Nadelholzbestände ²⁾	•	●	•	•	●	●	●	•	●	●
alte Bestockungen ³⁾	●	●	●	●	●	●	●	●	●	•
einschichtige Bestockungen ⁴⁾	●	●	●	●	•	●	•	●	●	•
Bestockungen ohne Eingriffe ⁵⁾	●	•	•	●	●	●	●	●	●	●

Gemäß dem statistischen Modell (Kap. 4.6) üben die Variablen "Totholz" und "instabile Bestände" einen signifikanten Einfluss auf das Schwemmholtzvolumen in den Bächen aus. Dies kommt auch optisch in Tab. 5.3 zum Tragen: Wo die Totholzmenge und die Anzahl instabiler Bestände je mit "wenig" oder "mittel" bewertet wurden, ist das Schwemmholtzvolumen gering

(Ausnahme: Bach 3). Dem gegenüber wirken sich die Vorräte des Uferstreifens und der Bestockung in den Einhängen entgegen den Vermutungen für sich alleine nicht eindeutig auf das Schwemmholtzvolumen im Bachbett aus: bei drei der vier Bächen mit viel Schwemmholtz sind die Vorräte mittel bis hoch, bei einem (Bach 3) sind sie jedoch klein.

Bei der Mehrzahl der Bächen scheint die Aktivität der Eintragsprozesse Erosion und Rutschungen eine bedeutende Rolle auszuüben (vergleichbar mit der Laufgeschwindigkeit eines Laufbandes). Wo viel Schwemmholtz beobachtet wurde, ist auch die Aktivität hoch, und wo die Aktivität tief ist, wurde wenig Schwemmholtz gefunden. Allerdings gibt es in dieser Hinsicht drei wichtige Ausnahmen: Im Bach 4 (grosse Aktivität / wenig Schwemmholtz) ist der Sachverhalt mit den geringen Vorräten erklärbar. In den Bächen 8 und 9 (hohe Vorräte, geringe Aktivität, viel Schwemmholtz) kann die Situation nicht einfach erklärt werden. Möglicherweise sind in diesen Bächen jedoch nicht Erosion und Rutschungen, sondern Schneedruck und Wind die massgebenden Eintragsprozesse. Vielleicht wirkt sich auch die geringe Transportkapazität in diesen Bächen aus. Dadurch würde das Holz nur selten transportiert und könnte sich im betrachteten Abschnitt ansammeln.

Werden die Stabilität und das Totholzvorkommen im Bestand als Variablen in einem statistischen Modell verwendet, ergibt sich ein signifikanter Zusammenhang dieser Variablen mit dem Schwemmholtzvolumen im Bachbett. Es stellt sich nun auch die Frage, durch welche Bestockungseigenschaften diese Variablen ihrerseits beeinflusst werden. Dazu sind zwar aus der forstlichen Literatur und Praxis gewisse Zusammenhänge bekannt. Gemäss den vorläufigen Auswertungen der Projektdaten und der groben Darstellung in Tab. 5.3 sind diesbezüglich jedoch noch keine Zusammenhänge ersichtlich. Weitere Arbeiten mit dem Ziel derartige Zusammenhänge anhand der vorliegenden Projektdaten zu entwickeln sollen angestrebt werden.

Trifft es tatsächlich zu, dass bei besserer Bestandesstabilität weniger Schwemmholtz anfällt, ist dies ein Hinweis darauf, dass mit Pflegeeingriffen in der ufernahen Bestockung zur Reduktion des Totholzanteiles beigetragen werden kann. Im Weiteren zeigten die Untersuchungen von Sachseln (Rickli et al. 2002), dass mit Stabilitätspflege ein Beitrag zur Verminderung von oberflächennahen Rutschprozessen geleistet werden kann. Und damit wird die Aktivität eines wichtigen Prozesses beeinflusst, welcher Holz vom Bestand in den Bach liefern kann.

5.7 Massnahmen

Das integrale Risikomanagement umfasst bekanntlich neben der Bewältigung von Schäden durch Naturgefahren auch Massnahmen der Prävention und Vorsorge. Dazu gehören auch Massnahmen in Wildbächen und in den ufernahen Bestockungen mit dem Ziel, die Gefahr durch Schwemmholtz zu reduzieren. Dabei stellen sich Fragen wie beispielsweise:

- Wie gross ist das Schadenpotential?
- Welche Schäden können durch frühzeitige Eingriffe vermieden werden?
- Wie gross ist der dafür nötige Aufwand?
- Wie stark kann dadurch das Risiko reduziert werden?

Um diese Aspekte zu bearbeiten sind Angaben erforderlich zu den Kosten für präventive Massnahmen und deren Wirksamkeit einerseits und andererseits Angaben zu Kosten für bauliche Massnahmen oder Angaben zur Höhe des Schadenpotentials ohne Massnahmen. Solche Datengrundlagen sind im Zusammenhang mit Schwemmholtz jedoch noch spärlich vorhanden. Im Rahmen von Consécru (1996) wurden einige Werte zum Aufwand für die Grünepflege erarbeitet.



Abb. 5.5: Massnahmen in den steilen, mit Runsen durchfurchten Einhängen eines Wildbaches.

Aktuelle Angaben über Aufwände für Massnahmen in Wildbächen sind derzeit dort zugänglich, wo Projekte in Zusammenhang mit Lothar und Naturgefahren (z.B. Kanton Luzern) durchgeführt wurden. Vielerorts wurden Engriffe entlang von Bächen mit regulären waldbaulichen Eingriffen oder mit Bachverbauungen kombiniert.

Zur Gefahrenminderung in Zusammenhang mit Schwemmholt kommen in der Regel unterschiedliche Massnahmen zu Anwendung. Am häufigsten sind Kontrollgänge mit Zerkleinern des Schwemmholtzes bis auf Längen vom maximal einem Meter. Zu diesen Massnahmen sind leider kaum konkrete und vergleichbare Zahlen in Form von Aufwand pro Schwemmholzmenge oder pro Längeneinheit im Gerinne verfügbar (höchstens in Form von Manntagen pro Bach). Abgaben über Eingriffe zur Minderung des Schwemmholtzpotenzials entlang des Uferstreifens oder in den Beständen sind bisher ebenfalls spärlich, werden aber als Folge der nach den Unwettern 2005 angelaufenen Projekte in den nächsten Jahren sicher erhältlich sein.

In einzelnen Fällen wurde die Uferbestockungen entlang von Wildbächen auf der Breite von ein bis zwei Baumlängen vollständig entfernt, was aber nur möglich ist, wenn der Untergrund der Einhänge stabil ist und in absehbarer Zeit wieder mit einer Vegetation bedeckt ist. Nicht zu unterschätzen ist bei solchen grossflächigen Massnahmen, dass sich häufig Neophyten wie der Japanische Staudenknöterich, Goldruten, Sommerflieder, etc. auf diesen Standorten wohl fühlen und stark ausbreiten. In Tab. 5.3 sind einige Zahlen zu verschiedenen Eingriffen aufgeführt.

Tab. 5.4: Beispiele für Massnahmen im Gerinne und in den ufernahen Bestockungen.

Massnahme	Holzmenge m ³	Aufwand in Mann-Std.	Aufwand in Fr.	Holzerlös	Kosten pro m ³	Kosten pro m'	Std. pro m ³
Totale Räumung auf einer Breite von 2 bis 3 Baumlängen beidseitig des Baches	1313 m ³		150'000.-	54'000.--	73.--		
Räumung von Schwemmholt aus dem Bach und Pflege der Uferbestockungen auf einer Baumlänge beidseits des Baches, Stöcke entfernen	134 m ³	440 Std.	27'880.--	7460.--	152 .--		
	100 m ³	185 Std.	22'540.--	6500.--	160.--	32.--	
	793 m ³	1790 Std.	156'590.-	19'778.--	172.--	152.--	
Räumung von Schwemmholtzansammlungen hinter Brücken/Durchlass	91 m ³	135 Std.	17'033.--	4110.--	142.--		1.5 Std./m ³
	21 m ³	nicht bekannt	4880.--	940.--	187.--		

Im Kanton Bern werden für Projekte im Rahmen der minimalen Schutzwaldpflege an Gerinneinhangen Pauschalansätze für das Zersägen, Entfernen oder das Sichern von instabilen Bäumen und beiläufigen Massnahmen zur Förderung der Verjüngung verwendet (Kreisschreiben KS 6.1/5, 2005). Daraus ergeben sich im günstigsten Fall Kosten für die Pflege von ufernahen Bestockungen von Fr. 65.- bis Fr. 70.-. In steilerem Gelände steigen diese Werte schnell, wie in den oben angegebenen Beispielen, auf Fr. 140.- bis Fr. 150.- pro m³. Wird das Holz abtransportiert erhöhen sich die Kosten natürlich, andererseits fällt in diesem Fall ein Holzerlös an.

5.8 Schwemmholt in Wildbächen während der Unwetter 2005

In vier Wildbächen wurde die Schwemmholsituation sowohl vor, wie auch nach den verheerenden Unwettern vom August 2005 beurteilt. Die Fallstudien erlauben folgende Schlüsse: Die Veränderungen der Querprofile, die gutachtliche Beurteilung der Abflussspuren und auch die Aussagen der Anwohner weisen darauf hin, dass in den betrachteten Wildbachabschnitten zwar erhöhte, jedoch nicht extreme Abflüsse stattfanden. Insbesondere die Beobachtungen an den Verklausungen führen zum Schluss, dass zwar innerhalb der Abschnitte lokal an verschiedenen Orten Schwemmholtztransport stattfand, jedoch jeweils nur über kürzere Strecken. Es wird abgeschätzt, dass insgesamt deutlich weniger als 10% des in den untersuchten Bachabschnitten liegenden Schwemmholzes bzw. weniger als ca. 5 m³ aus den Abschnitten ausgetragen wurde. Dem gegenüber wurden durch die Starkniederschläge zahlreiche Eintragsprozesse ausgelöst, welche neben erheblichen Geschiebemengen auch Holz in das Gerinne eintrugen. Offenbar wurden durch die Niederschlagssituation vom August 2005 mit lange anhaltenden Niederschlägen in den untersuchten, kleineren Einzugsgebieten keine Hochwasserabflüsse mit erheblichem Schwemmholtztransport ausgelöst (Ausnahme: Bäche mit murgangartigen Abflüssen). Hingegen wurde die Totholzmenge in den Bachbetten erhöht. Bei künftigen Starkniederschlägen kurzer Dauer, welche bekanntlich in kleinen Einzugsgebieten die Hochwasserabflüsse auslösen, steigt dadurch die Gefahr von Problemen durch Schwemmholtz.

5.9 Zukünftige Forschungsfelder

Die vorliegende Forschungsarbeit vermag die Thematik zum Einfluss der Bestockung auf das Schwemmholtvorkommen in Wildbächen nicht vollständig zu bearbeiten. Diesbezüglich sowie auch in einem etwas grösseren Umfeld der Thematik ist die Bearbeitung weiterer Aspekte sinnvoll. Dazu gehören:

- Holz-Transportvorgänge vom Hang in das Bachbett (Monitoring)
- Entwicklung des Holzzustandes im Bachbett
- Holztransport in Wildbachgerinnen durch Hochwasser (Markierung von Holzstücken zum Beispiel in hydr. Testeinzugsgebieten oder in den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Wildbächen)
- Modellierung der Bestockung im Hinblick auf die Totholz- und Schwemmholtzproduktion
- Erarbeitung von Fallbeispielen mit konkreten Massnahmenkosten und Berechnung der Risikoreduktion

6. Zusammenfassung

Der Wald schützt in Wildbacheinzugsgebieten die steilen Bachanhänge vor Erosion und Rutschungen. Vielerorts werden die ufernahen Bestockungen seit längerem nicht mehr genutzt und die Holzvorräte nehmen zu. Durch verschiedene Eintragsprozesse gelangt Holz in die Bachläufe. Neben positiven Aspekten – namentlich in Hinblick auf die Ökologie – führt Schwemmholz bei hydrologischen Extremereignissen in Wildbächen regelmässig auch zu erheblichen Problemen. An der WSL wurde mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Umwelt BAFU ein Forschungsprojekt durchgeführt mit den folgenden wichtigsten Punkten:

- Schwemmholzverhältnisse in ausgewählten Wildbächen
- Zusammenhang zwischen den ufernahen Bestockungen und dem Schwemmholzvorkommen in Wildbächen
- Möglichkeiten zur Verminderung der Schwemmholzproblematik durch Pflegeeingriffe in der Bestockung

In verschiedenen Regionen der Schweiz wurden insgesamt zehn Wildbäche untersucht. Ausgesucht wurden Bäche mit unterschiedlichen Bestockungen, welche jedoch anderweitig möglichst vergleichbar sind. Pro Bach wurde ein Abschnitt von 1.0 km vermessen und beurteilt. Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:

- Vermessung des Gerinneverlaufes, Beurteilung der Gerinne- und (Holz-) Eintragsprozesse
- Erhebung des Schwemmholzes im Hochwasser-Abflussbereich und des stehenden Holzes auf einem schmalen Streifen entlang des Ufers (potentielles Schwemmholz)
- Erhebungen zur Bestockung und zum Totholz in den Einhängen (Kreisstichproben, qualitative Bestandesbeurteilungen)

Mit Angaben zu insgesamt zehn Bächen ist die vorliegende Untersuchung in einem Bereich zwischen Fallstudie und statistischer Untersuchung anzusiedeln. Es ist zu anzumerken, dass trotz dem Ziel, abgesehen von der Bestockung möglichst vergleichbare Bäche zu untersuchen, doch jeder Bach ein Einzelfall darstellt. Zudem wirken sich viele Einflussgrössen auf das Schwemmholzvorkommen im Bach aus. Deshalb sind die Ergebnisse mit Vorsicht auf andere Gebiete zu übertragen.

Eine Besonderheit dieses Projektes besteht darin, dass die Bachläufe, Prozesse und ufernahen Bestockungen eingehend und interdisziplinär untersucht wurden. Damit stehen zu diversen Aspekten Daten zur Verfügung, welche auch nach Abschluss des Projektes im Rahmen weiterer Arbeiten ausgewertet werden können. Nachfolgend werden einige der bisher erarbeiteten Ergebnisse aufgeführt.

Schwemmholzsituation

- Zwischen 50 und 100 m³ oder zwischen 472 und 879 Stück Schwemmholz wurden auf einer Abschnittslänge von jeweils 1.0 km im Abflussbereich der verschiedenen Bäche erfasst; die Holzmengen sind ungleichmässig verteilt entlang des Bachlaufes.
- Es wurden viele kleine und nur wenig grosse Holzstücke beobachtet; 80% der Stücke sind kürzer als 5.0 m und dünner als 23 cm.
- In Bezug auf die Stammzahl sind etwa ein Drittel der Stücke 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 als gut, bei je 30% als mässig bzw. schlecht beurteilt. Besonders gefährlich sind Stücke mit gutem Zustand, da sie während des Transports weniger rasch zerkleinert werden. Holz mit schlechtem Zustand dürfte kaum als Kristallisierungspunkt einer Verklausung in Frage kommen.
 - Der Eintragsprozess war nur in der Minderheit der Holzstücke klar eruierbar. Dabei kommen die Eintragsprozesse Ufererosion, Rutschungen und Wind/Schneedruck etwa gleich häufig vor.
 - Nur etwa 15% der Holzstücke üben für sich alleine eine unmittelbare Wirkung auf den Abfluss (hinsichtlich Abtreppung oder Richtungsänderung) aus. Weitere 16% der Stücke wirken sich jedoch im Verbund einer Verklausung auf den Abfluss aus. Insgesamt wurden 94 Verklausungen beobachtet; d.h. neun bis zehn pro Bach. Die Verklausungen wurden namentlich durch konzentrierten Holzeintrag (Seitenrinnen, Rutschungen) initiiert.

Bestockung

- Auf einem schmalen Streifen beidseitig entlang der Bachufer stehen je nach Bach zwischen 18 und 88 m³ (im Extremfall 156 m³) Holz, welche im Fall von hohen Abflüssen leicht zu Schwemmholt werden können. Dies jedoch nur, sofern die Transportkapazität des Abflusses ausreicht (bei murgangartigen Abflüssen ist dies in der Regel der Fall).
- Im Bestand wurden Vorräte von 147 bis 627 m³/ha ermittelt. Sie liegen in den meisten Fällen über jenen gemäss Landesforstinventar.
- Zwischen der Bestockung des Uferstreifens und jener in den Einhängen wurden gewisse Unterschiede festgestellt: Vorräte (m³/ha), Mittelstamm (Vol. pro Baum) und Nadelholz-Anteil sind im Bestand grösser als auf dem Uferstreifen; die Baumarten Erle, Weide und Tanne sind im Bestand weniger stark vertreten als auf dem Uferstreifen.
- In den Einhängen wurden 20 – 70 m³/ha Totholz ermittelt, was über den Werten gemäss Landesforstinventar liegt.
- Die Stabilität der Bestockungen in den Einhängen wurde zwar allgemein nicht als besorgnisregend beurteilt, weist jedoch trotzdem einige Defizite auf; namentlich in Bezug auf die Kriterien "Kronenlänge" und "Verankerung".
- Die Verjüngung wurde oftmals als zu spärlich beurteilt. Die grössten Defizite zeigten sich in der Ansamung und im Anwuchs (bis 40 cm Pflanzenhöhe).

Unwetter-Ereignisse 2005

- Während der Unwetter vom August 2005 fand innerhalb der Abschnitte an verschiedenen Orten der vier untersuchten Wildbäche zwar Schwemmholttransport teilweise statt, jedoch jeweils nur über kürzere Strecken und in geringem Ausmass. Nur wenig Holz wurde aus den jeweiligen Bachabschnitten ausgetragen.
- Durch die Starkniederschläge fanden Prozesse statt, welche neben Geschiebe auch Holz in die Gerinne eintrugen. Durch die spezielle Niederschlagssituation vom August 2005 wurden damit in den Wildbächen keine Hochwasserabflüsse mit erheblichem Schwemmholttransport ausgelöst, jedoch die Totholzmenge in den Bachbetten erhöht. Dadurch vergrösserte sich die Gefahr von Problemen durch Schwemmholt bei allfälligen Hochwasserabflüssen in diesen Wildbacheinzugsgebieten.

Einflussgrössen auf die Schwemmholsituation

- Gemäss den vorliegenden Auswertungen kann bezüglich der Bestockungscharakteristika Vorrat, Laubholzanteil und Bestandesstruktur kein erheblicher Einfluss auf das Schwemmholtvorkommen erkannt werden. Die statistischen Auswertung weisen jedoch auf einen Einfluss der Bestandesstabilität und der Totholzmenge hin: Je grösser die Be-

standesstabilität und je kleiner die Totholzmenge in den Einhängen, desto weniger Holz wurde im Abflussbereich der Bäche gefunden.

- Obwohl anhand der statistischen Auswertungen nicht ersichtlich, weisen verschiedene Erfahrungen und Beobachtungen auf die Bedeutung der Eintragsprozesse hin.

Massnahmen

- In Übereinstimmung mit den üblichen Grundsätzen des modernen Risikomanagements sind Massnahmen zur Reduktion des Schwemmholtentials (im Bach und in den Einhängen) nur dort notwendig, wo erhebliches Schadenpotential vorhanden ist. Dies umfasst auch den Aspekt, dass das Schwemmholt durch die zu erwartenden Abflüsse (Murgänge) tatsächlich bis zu den kritischen Stellen transportiert werden kann.
- Massnahmen im Abflussbereich (Entfernen/Zusammensägen von Holz) sowie im unmittelbaren Uferbereich (Entfernen instabiler Bäume) wirken sich am effektivsten auf die Schwemmholtzsituation aus. Gemäss den vorliegenden Erkenntnissen kann darüber hinaus mit Massnahmen zur Förderung der Stabilität und zur Reduktion des Totholzanteils im Bestand ein Beitrag geleistet werden zur Verminderung des Schwemmholtzvorkommens im Bachbett. Um einen nachhaltig stabilen Bestandesaufbau zu erreichen, ist die Förderung der Verjüngung (Menge, Baumarten) von grosser Bedeutung. Die Nettokosten derartiger Massnahmen in den Bacheinhängen liegen derzeit im Bereich von etwa 150 bis 200 Fr.- pro Kubikmeter.

Literatur

- BAFU (Bundesamt für Umwelt), in Vorber.: Ereignisdokumentation der Unwetter vom August 2005.
- Bänziger, R., 1989: Ursachenanalyse Hochwasser 1987. Teilprojekt A1: Schwemmholtz. Abschlussbericht. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Birmensdorf. 87 S.
- Bänziger, R., 1990: Schwemmholtz im Unwettersommer 1987. Schweiz. Ingenieur und Architekt, 47, 1354-1358.
- Benda, L.E., Sias, J.C., Sias 2003: A quantitative framework for evaluating the mass balance of in-stream organic debris. Forest Ecology and Management 172 (2003): 1-16.
- Bezzola, G.R., 2001: Schwemmholtz – Rückhalt oder Weiterleitung? wasser, energie, luft 93 (9/10), 247-252.
- 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.
- Bezzola, G.R., Lange, D., 2003: Umgang mit Schwemmholtz im Wasserbau. wasser, energie, luft 95 (11/12), 360-363.
- Böll, A., 1997: Wildbach- und Hangverbau. Berichte der WSL, Nr. 343, Birmensdorf.
- Böhl, J., Brändli, U.B. (accepted): Deadwood volume assessment in the third swiss national forest inventory - methods and first results. European Journal of Forest Research.
- Brassel, P., Brändli, U.B. (Red.) 1999: Schweizerisches Landesforstinvant. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Birmensdorf. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt. 442 S.
- Bragg, D.C., Kershner, J.L., Roberts, D.W., 2000: Modelling large wood debris recruitment for small streams of the Central Rocky Mountains. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-55. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 36 p.
- Braudrick, C.A., Grant, G.E., 2000: When do logs move in rivers? Water resources research, vol.26 (2), 571-583.
- Braudrick, C.A., Grant, G.E., 2001: Transport and deposition of large woody debris in streams: a flume experiment. Geomorphology 41, 263-283.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 2005: Nachhaltigkeit im Schutzwald – Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Reihe Vollzug Umwelt.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), 2000: Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald. 100 S.
- BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie), 2003: Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten – Praxishilfe. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4 – Bern 117 S.
- BWW (Bundesamt für Wasserwirtschaft), 1998: Ereignisdokumentation Sachseln - Unwetter vom 15. August 1997. Studienbericht Nr. 8 / 1998, 48 S. + Anhang.
- Comiti, F., Andreoli, M.A., Lenzi, Mao, L., 2006: Spatial density and characteristics of woody debris in five mountain rivers of the dolomites (Italian Alps). Geomorphology 78: 44-63.
- Consécrus, 1996: Schwemmholtz. Projekt Consécrus, Schlussbericht Teilprojekt Schwemmholtz. Projektgemeinschaft Glenz und Walther, Brig, D. Schönbächler, Selkingen, A. Burkhard, Brig.

-
- Dahlström, N., Nilsson, C., 2004: Influence of Woody debris on Channel structure in old growth and managed forest streams in Central Sweden. Environmental Management 33 (3), 376-384.
- Debeljak, M., 2006: Coarse woody debris in virgin and managed forest. Ecological indicators 6: 733-742.
- Duwaplan, 1999: Schwemmholzuntersuchungen Riemenstaldnerbach, Gemeinde Sisikon, Morschach und Riemenstalden. Kommentar zur Abschätzung der Schwemmholzmenge und des Schwemmholzpotentiales, Zustand 1999. Ingenieurbüro Duwaplan GmbH, Alt-dorf.
- Eckert, S., Scherle, J., Nestmann, F., Hug, M., Späth, V., 1996: Totholzanfall in Fließgewässern und dessen Auswirkungen auf die Gewässerstrukturentwicklung in Abhängigkeit von Baumarten, Waldgesellschaften, Alters- und Waldstruktur auf Ufer- und Uferlandstreifen. Veröff. PAÖ (16), 255-284.
- Fischer, M., 2006: Untersuchung über den Zusammenhang zwischen dem Waldflächenverlust und der Schwemmholzproblematik am Beispiel Klosters. Semesterarbeit an der Hochschule Wädenswil, unveröff.
- Frick, E., Steffen, B., Kienholz, H., 2004: Gerinne-, Böschungs- und Hangtypen in Wildbächen. Int. Syp. Interpraevent, Riva/Trent I, Vol. 7:83-94.
- Gomi, T., Sidle, R.C., Bryant, M.D., Woodsmith, R.D., 2001: The characteristics of debris and sediment distribution in headwater streams, southeastern Alaska. Can. J. For. Res. 31,1386-1399.
- Haga, H., Kumagai, T., Otsuki, K., Ogawa, S., 2002: Transport and retention of coarse woody debris in mountain streams: an in situ field experiment of log transport and a field survey of coarse woody debris distribution. Water resources research 38/8, 1-16.
- Hirston-Strang, A.B., Adams, P.W., 1998: Potential large woody debris sources in riparian buffers after harvesting in Oregon, U.S.A. Forest Ecology and Management 112, 67-77.
- Hartlieb, A., Bezzola, G. R., 2000: Ein Überblick über die Schwemmholzproblematik. wasser, energie, luft 92 (1/2), 1-5.
- Heiniger, P., Petrascheck, A., 2003: Schwemmholz und Hochwasserschutz. wasser, energie, luft 95 (11/12), 373-374.
- Hering, D., Kail, J., Eckert, S., Gerhard, M., Meyer, E.I., Mutz, M., Reich, M., Weiss, I., 2000: Coarse woody debris quantity and distribution in Central European streams. International Review of Hydrobiology (85), 5-23.
- Hess, J., 1998: Die Unwetterkatastrophe vom 15. August 1997 in Sachseln, Kanton Obwalden. Schweiz. Z. Forstwes. 149 (1998) 9: 707-714.
- Heiniger, P., Petrascheck, A., 2003: Schwemmholz und Hochwasserschutz. wasser, energie, luft 95 (11/12), 373-374.
- Hitz, O., Gärtner, H., Monbaron, M., 2006: Jahrringanalytische Rekonstruktion von Ufererosion und Schwemmholzaufkommen in Schweizer Wildbächen. Schlussbericht zuhanden der Eidg. Forstdirektion. Univ. Fribourg, Eidg. Forschungsanst. WSL, 65 S.
- Hochstrasser, H., 1997: V-förmiger Treibholzfang und Geschiebeablagerungszone am Chämpfnerbach bei Wetzenikon. wasser, energie, luft 89 (7/8), 213-214.
- Hutter, M., 2002: Schwemmholzeintrag im Goms und Massnahmen zur Verbesserung der Zustände. Diplomarbeit ETH-Z, Dep. Umweltwissenschaften, Studiengang Forstwissenschaften (unveröff).
- Jäaggi, M., Kuster, P., 1991: Einfluss der Vegetation im Gerinne bei extremen Abflussmengen. In: Ursachenanalyse der Hochwasser 1987. Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft Nr. 4, S. 111-116.

-
- Kamm, S. (2005): Analyse ausgewählter Schwemmholtz-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.
- 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.
- Kaufmann, E., 2000: Tarife für Schaftholz in Rinde und Rundholzsortimente. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 53 S.
- Keller, E.A., 1979: Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. *Earth surface processes*, vol. 4, 361-380.
- Keller, M. (Red.) 2005: Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Feldaufnahmen der Erhebung 2004-2007, Birmensdorf. Eidg. Forschungsanstalt WSL, 393 S.
- Keller, W., 1978: Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. Mitt. Eidg. Anst. Für das forstl. Versuchswesen Bd. 54, Heft 1. 98 S.
- Lange, D., Bezzola, G.R., 2006: Schwemmholtzprobleme und Lösungsansätze. Mitt. Versuchsanst. für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETHZ, No. 188, 125 S.
- Lienkaemper, G.W., Swanson, F.J., 1986. Dynamics of large woody debris in streams in old-growth Douglas-fir forests. *Can. J. For. Res.* 17: 150-156.
- Loipersberger, A., Rimböck, A., Knauss, J., 2000: Netzkonstruktionen für den Wildholzrückhalt in Wildbächen. Int. Symp. Interpraevent 2000 in Villach, Vol. 3, 239-250.
- Marcus, W.A., Marston, R.A., Colvard, C.R., Gray, R.D., 2002: Mapping the spatial and temporal distributions of woody debris in streams of the Greater Yellowstone Ecosystem, USA. *Geomorphology* 44: 323-335.
- Montgomery, D.R., Piégay, H., 2003: Wood in rivers: interactions with channel morphology and processes. *Geomorphology* 51: 1-5.
- Müller-Using, S., Bartsch, N., 2003: Totholzdynamik eines Buchenbestandes (*Fagus sylvatica* L.) im Solling. Nachlieferung, Ursache und Zersetzung von Totholz. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 174. Jg. 7: 122-130.
- Ott, E., Frehner, M., Frey, H.-U., Lüscher, P., 1997: Gebirgsnadelwälder. Verlag Paul Haupt, Bern, 287 S.
- Pieren, J., Handschin, W.: 2002: Die Schwemmholtzproblematik am Riemenstaldnerbach. *FAN-Agenda* 1/02: 17-20.
- Piégar, H., 2003: Le bois mort, un élément nouveau à prendre en compte dans la gestion des cours d'eau français. *wasser, energie, luft* 95 (11/12), 370-373.
- Piégar, H., Gurnell, A.M., 1997: Large woody debris and river geomorphological pattern: examples from S.E. France and S. England. *Geomorphology* 19, 99-166.
- Rickenmann, D., 1997: Schwemmholtz und Hochwasser. *wasser, energie, luft* 89 (5/6), 115-119.
- Rickli, Ch., Zürcher, K., Frey, W., Lüscher, P., 2002: Wirkungen des Waldes auf oberflächen-naher Rutschprozesse. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153, 11: 437-445.
- Rimböck, A., 2003: Schwemmholtzrückhalt in Wildbächen. Grundlagen zu Planung und Berechnung von Seilnetzsperrern. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München. 163 S.
- Rimböck, A., Strobl, T., 2001: Schwemmholtzpotential und Schwemmholtzrückhalt am Beispiel Partnach/Ferchenbach (Oberbayern). *Wildbach- und Lawinenverbau* 145 (65 Jg.), 15-27.

-
- Ringvall, A., Ståhl, G., 1999: Field aspects of line intersect sampling for assessing coarse woody debris. *Forest Ecology and Management* 119, 163-170.
- Romang, H. 2004: Wirksamkeit und Kosten von Schutzmassnahmen. *Geographica Bernensia* G73, 212 S.
- Rubino, D.L., McCarthy, B.C., 2003: Evaluation of coarse woody debris and forest vegetation across topographic gradients in a southern Ohio forest. *Forest Ecology and Management* 183, 221-238.
- Sandri, A., Zwahlen, E., 2004: Einfluss der Waldflege auf Schwemmholtz. *Bündnerwald* 5:48-52.
- Sitonen, J., Martikainen, P., Punttila, P., Rauh, J., 2000: Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 128: 211-225.
- SLF (Hrsg.) 2000: Der Lawinenwinter 1999. Ereignisanalyse. Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. 588 S.
- Suter, W., Schielly, B., 1998: Liegendes Totholz: Ein wichtiges Strukturmerkmal für die Habitatqualität von Kleinsäugern und kleinen Carnivoren im Wald. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 149/10: 795-807.
- Thevenet, A., Citterio, A., Piegay, H., 1998: A new methodology for the assessment of large woody debris accumulations on highly modified rivers (Example of two French piedmont rivers). *Reg. Rivers: Res. Mgmt.* 14, 467-483.
- Tinker, D.B., Knight, D.H., 2001: Temporal and spatial dynamics of coarse woody debris in harvested and unharvested lodgepole forests. *Ecological Modelling* 141, 125-149.
- Tockner, K., 2003: Die ökologische Bedeutung des Schwemmgutes. *wasser, energie, luft* 95 (11/12), 353-354.
- Uchiogi, T., Shima, J., Tajima, H., Ishikawa, Y., 1996: Design methods for wood-debris entrapment. *Int. Symp. Interpraevent Garmisch-Partenkirchen*, vol.5, 279-288.
- Wallerstein, N.P., Thorne, C.R., 2004: Influence of large woody debris on morphological evolution of incised, sand-bed channels. *Geomorphology* 57: 53-73.
- WSL, 1989: Schwemmholtz. Ursachenanalyse Hochwasser 1987, Projektabschlussbericht. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Forstliche Hydrologie, R. Bänziger.
- Zeller, J., Röthlisberger, G., 1985: Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1984: *wasser, energie, luft* 77, 3/4: 65-70.
- Zollinger, F., 1983: Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz (ihre Morphologie, und die Möglichkeiten einer Steuerung). Diss. ETH Nr. 7419.

Anhang

A.1 Aufnahmeanleitung

0. Auswahl Gerinneabschnitt

Aus dem Gerinne wird ein möglichst einheitlicher **Abschnitt von 1000 m Länge** ausgewählt.
Einheitlich bezüglich:

- Bestockung: Baumarten (Ndh/Lbh); Vorrat (hoch/tief); Waldbehandlung (gepflegt/ungepflegt); Struktur (gleichförmig/stufig)
- Bacheinhänge (Geologie, Topographie, Hangneigung)
- Gerinne (Längenprofil, Rauhigkeit)

Ausgangspunkt: klar definierter Punkt wie Brücke, Furt, Wanderweg, etc.

Weitere **wünschbare Anforderungen**:

- Im Gerinne von oben kein/kaum Schwemmholtzeintrag
- wenig Seitengräben
- keine Extremereignisse in den letzten 15 bis 20 Jahren.

1. Vermessung und Charakterisierung Wildbachgerinne (Formular A)

Ausgehend von einem unter Kap. 0 definierten 1000m-Abschnitt (Start- oder Endpunkt) wird der Gerinneverlauf in **100 m -Abschnitte** unterteilt. Diese sind im Gelände durch sog. Gerinnepunkte festgelegt.

Diese **Gerinnepunkte** (GP) liegen in der Mitte des Gerinnes und werden mittels Gerinnevermessung (Gefälle, Azimut) eingemessen und an den Ufern dauerhaft versichert. Nummerierung der GP beginnend mit 1 aufsteigend von unten nach oben.

Zwischenpunkte bei markanten Neigungs- bzw. Richtungsänderungen (nicht markiert).

Bei **mehrarmigen Abschnitten**: derjenige Arm wird vermessen und beurteilt, der aktuell die grösste Wassermenge führt.

Fels-/Lockergestein: ankreuzen des jeweils vorherrschenden Sohlentyps pro Teilabschnitt. Als "Fels" wird ± kompakter Fels bezeichnet. Lockergestein: inkl. grosse Blöcke. In Zusammenfassung (Seite 2) wird die Summe der zugeordneten Teilabschnittslängen in Meter angegeben.

Korngrösse d_{90} : Beurteilung: Durchschnitt der b-Achsen der 5 grössten Blöcke. Beurteilt wird das gesamte Sohlenmaterial im Hochwasser-Abflussbereich; d.h. inkl. grössere Blöcke (jedoch nur solche, die sich vollständig innerhalb der HQ-Linie befinden).

Tiefenerosion: deutliche, aktuell aktive Erosion um > 1.0 m in die Tiefe. Prozess fand in den letzten ca. 10 Jahren statt. Ankreuzen pro Teilabschnitt, falls *mehr als 10 m* im betreffenden

Teilabschnitt von Tiefenerosion geprägt. Falls Tiefenerosion zwei Abschnitte betrifft: jenem Abschnitt mit dem grösseren Anteil der Tiefenerosion zuordnen.

Seitenerosion: deutliche, aktuell aktive Erosionsanzeichen (> 1.0 m horizontale Verschiebung des Ufers, in den letzten ca. 10 Jahren). Ankreuzen pro Teilabschnitt, falls *mehr als 10 m* vom betreffenden Prozess geprägt. In Zusammenfassung: max. 200 m pro Gerinneabschnitt. Falls Seitenerosion zwei Abschnitte betrifft: jenem Abschnitt mit dem grösseren Anteil der Seitenerosion zuordnen.

Ab-/Umlagerung: deutliche Anzeichen für Geschiebetransport vorhanden; Erosion und Ablagerung (jeweils um *mehr als 1.0 m*) folgen sich kurz aufeinander bzw. finden auf dem gleichen Streckenabschnitt statt. Prozess fand in den letzten ca. 10-15 Jahren statt. Falls Ab-/Umlagerung zwei Abschnitte betrifft: jenem Abschnitt mit dem grösseren Anteil der Ab-/Umlagerung zuordnen.

Uferrutschungen: durch Seitenerosion ausgelöst. Minimalfläche: 25 m^2 . Anzahl angeben. Nur spontane Rutschungen in den letzten ca. 10-15 Jahren (keine langsamten, kontinuierlichen, eher tiefgründigen Rutschungen). Falls Rutschung zwei Abschnitte betrifft: jenem Abschnitt mit dem grösseren Anteil zuordnen.

Hangrutschungen: keine Beeinflussung durch das Gerinne. Minimalfläche: 25 m^2 . Anzahl angeben. Nur spontane Rutschungen in den letzten ca. 10-15 Jahren (keine langsamten, kontinuierlichen, eher tiefgründigen Rutschungen). Falls Rutschung zwei Abschnitte betrifft: jenem Abschnitt mit dem grösseren Anteil der Rutschfläche zuordnen.

Hindernisse:

- Kunstbauten: Durchlässe, Brücken, Schwellen, Sperren, usw.
- Verklausung: mit deutlichem Einfluss auf Situation oder Längenprofil gem. Kap. 2.
- Grobe Blöcke: grösser als 1.0 m Durchmesser (b-Achse).
- Engstellen: Reduktion der vorherrschenden Bachbett-Breite auf < 50%.

2. Erfassung Schwemmholz im Gerinne (Formular B)

Aufnahmebedingung: das Schwemmholz-Stück liegt im Hochwasserabflussbereich oder reicht mit einem Teil (Ast, Wurzel,...) in diesen hinein (auch Äste < 7 cm). Aufgenommen werden auch abgerutschte, deutlich hängende oder liegende Bäume, welche nur noch teilweise mit dem festen Ufer verhängt sind und bereits durch unwesentliche Erosion oder geringe Schleppkraft des Wassers bewegt, resp. abtransportiert werden können. Nicht zum Schwemmholz, sondern zum Potential durch Ufererosion gehörende stehende, hängende oder liegende Bäume.

Hochwasserabflussbereich: Abschätzung des Abflussbereiches primär aufgrund des Durchflussquerschnittes bei HQ₁₀₀. Verifikation basierend auf Spuren der letzten Hochwasserereignisse (Erosion, Ablagerungen).

Aufnahmeschwelle: Länge > 1.0 m, Mittendurchmesser > 10 cm, berücksichtigte Stücklänge bis Zopfdurchmesser 7 cm. Bei Stöcken: Mindestdurchmesser (> 10 cm) an der Schnittstelle; die Stockhöhe kann auch kleiner als 1.0 m sein.

Stückart:

- Stammstück (Baumteil ohne Stock; grösserer Teil gehörte nicht zu Krone; bzw. ohne starke Äste)

- Stammstück mit Stock (Baumteil mit Stock; grösserer Teil ohne Verzweigungen / Kronenäste)
- Stock (Baumteil mit Stock bis Länge 1.3 m ab Wurzelanläufen bzw. urspr. OK Terrain)
- Kronenstück (Stammteil; grösserer Teil aus Krone; mit Astanläufen oder starken Ästen)
- ganzer Baum (inkl. Stock und inkl. Krone mit Zopf/Ästen \leq 7 cm Durchmesser)

Holzart: Laubholz / Nadelholz / nicht bestimmbar. Nur dann Holzart angeben, wenn mit grosser Sicherheit die Art bestimmt werden kann. Falls unsicher: nicht bestimmbar.

Zustand: Prüfung mit Schraubenzieher No. 3 im Bereich der Messstelle für den Durchmesser (\pm ca. 0.5 m). Der schlechteste Zustand ist massgebend. Drei Kategorien:

- 1: volle Festigkeit, kürzere Stücke (bis 2.0 m) werden bei Transport nicht brechen. Kein Eindringen (<1-2 mm) des Schraubenziehers in den *Holzkörper* mit mässigem Kraftaufwand.
- 2: reduzierte Festigkeit, kürzere Stücke werden bei Transport teilweise brechen. Vereinzelt Eindringen des Schraubenziehers mit mässigem Kraftaufwand bis maximal 10 mm.
- 3: Restfestigkeit gering, Holzstücke werden bei Transport "zerrieben". Eindringen des Schraubenziehers mit mässigem Kraftaufwand bis > 10 mm.

Eintragungsprozess: Uferrutschung, Hangrutschung, Fall, Wind, nicht bestimmbar. Nur dort angeben, wo klare Anzeichen beobachtbar sind. Keine Mutmassungen. Hinwies für lokalen Eintrag: feine Äste (< 1.0 cm) vorhanden.

Schnittstellen: Stamm-Trennschnitte, Entastungsschnitte

Mobilität (bei ca. 10-jährlichem Abfluss):

- *mobil*: freiliegend im Abflussbereich und Derbholzlänge < Bachbreite (durchschnittliche, lokale Bachbreite im Bereich ab Schwemmholzposition bis plus ca. 20 m bachabwärts).
- *immobil*: > $\frac{1}{3}$ der Stücklänge eingeschottert oder > $\frac{2}{3}$ ausserhalb Abflussbereich oder Länge > Bachbreite oder Holz beidseitig fixiert oder mit Wurzel im Ufer gut verankert.

Wirkung (bisherige): Einfluss Längenprofil, Einfluss Situation, kein Einfluss.

- *Beeinflussung Längenprofil*: Stufenbildung auf mindestens $\frac{1}{2}$ der Bachbreite infolge Schwemmholz vom mehr als 0.5 m. Bachbreite: durchschnittliche, lokale Bachbreite im Bereich ab Schwemmholzposition bis plus ca. 20 m bachabwärts.
- *Beeinflussung Situation*: deutliche, lokale Richtungsänderung des Wasserlaufes ($> 10^\circ$) infolge Schwemmholz, mit oder ohne Geschiebeablagerung.

Verklausungen: *Definition*: ≥ 2 Schwemmholz im Verbund, welche zusammen eine Wirkung auf Längenprofil und/oder Situation ausüben (vgl. Beeinflussung LP/Sit. oben). Holzstücke in Verklausungen werden nach Möglichkeit wie freiliegende Holzstücke erfasst (bei Bemerkungen Verklausungsnummer angeben [$V_1 \dots V_n$]; Beurteilung der Parameter Mobilität und Wirkung nicht notwendig). Als Teil der Verklausung gelten auch Stücke ausserhalb des Hochwasserabflussbereiches, sofern sie zur Verklausung beitragen/beitrugen. Für die gesamte Verklausung werden die Ausmasse, der Zustand, die Ursache, die Mobilität sowie die Wirkung geschätzt/beurteilt. Beurteilung der Wirkung: siehe oben. Weitere Kriterien:

-
- *immobil*: die einzelnen Stücke (1 bis mehrere) sind als immobil zu bezeichnen und haben die Wirkung von Gerüst- oder Trägerelementen (Zustand der Trägerelemente: 1 oder 2).
 - *intakt*: wirkt im Fall eines Hochwasserabflusses als Staukörper für Wasser und Geschiebe.
 - *Ursache*: seitlicher Holzeintrag (aus Rutschungen, Runsen, Ufererosion, Lawinen, grosser Einzelbäume), Flachstrecke, Engnis / Hindernis, unbekannt.

3. Erfassung potentielles Schwemmholt durch Ufererosion (Formular C)

Erfassung von Bäumen, Stöcken und stehendem Totholz mit **Bhd > 10 cm**, welche in einem Horizontalabstand von bis zu 1.0 m zur Hochwasserlinie stehen (Stammachse am Fuss).

Erfasst werden Bäume, Stöcke und stehende tote Bäume, welche noch fest mit dem Ufer verwurzelt sind. Abgerutschte, vom Ufer mehrheitlich gelöste Bäume und Stöcke zählen zum Schwemmholt (siehe Kap. 2).

Bei Stöcken und stehendem Totholz mit Stammbruch muss der verbleibende Volumenanteil abgeschätzt werden (vgl. Grafik "Volumenanteil Kegelstumpf").

Die Uferböschung muss **erodierbar** sein; d.h. aus Lockergestein bestehen. Sie ist nur dann nicht erodierbar, wenn der Baum auf Fels steht oder auf einem Block mit einem Durchmesser > 2.0 m (kleinste Achse).

Bei **verzweigten Bachläufen**: Nur entlang des aktuell Wasser führenden Hauptarmes gefährdete Bäume aufnehmen. Es erfolgt keine Mutmassung über die Abflusswege anlässlich eines Hochwasserereignisses.

4. Stichprobenerhebung Bestand (Formular D)

Einmessung der Stichprobenzentren (vgl. Skizze Formular D):

- Ab Hochwasserlinie des am stärksten wasserführenden Gerinneastes (bestimmt im Rahmen der Querprofilvermessung; Formular F) in Hangfalllinie 35 m (schief) mittels Gefällsmesser und Messband/ LASER-Distanzmessgerät bis zum Stichprobenzentrum A (auch falls dieses ausserhalb des Waldareals zu liegen kommt evtl. Angabe Waldrand).
- SP-Punkte ausserhalb des Einzugsgebietes werden nicht berücksichtigt. Stichproben am Rand des Einzugsgebietes werden an der Grenze gespiegelt.
- Stichproben B / C: vom Stichprobenzentrum A 15 m (schief) und um 30° (33°) bachaufwärts (B), resp. bachabwärts (C) gedreht in Bezug auf das letzte Teilstück der Einmessung des Stichprobenzentrums A.

Immer (sofern zugänglich) alle Stichproben einmessen und SP-Typ sowie Hangneigung angeben.

Stichproben-Typen (bezogen auf Stichproben-Zentrum): 1: Wald zugänglich; 2: Wald nicht zugänglich; 3: Nichtwald zugänglich; 4: Nichtwald nicht zugänglich; 5: nicht im Einzugsgebiet;

Erhebungen:

- Bei allen Stichproben A, B und C. wird der Stichproben-Typ angegeben (Zugänglichkeit und Vegetation; bei Nichtwaldstichproben Grund angeben: ob Freiland, Erosions- Rutschflächen, oder Fels)

-
- bei Zugänglichkeit innerhalb des Waldareals wird A und B aufgenommen. Ist A und/oder B nicht zugänglich oder A und/oder B liegt ausserhalb des Waldareals, wird zusätzlich C aufgenommen.
 - falls SP-Zentrum von A im Freiland: trotzdem einmessen und Erhebungen soweit als möglich durchführen. In diesem Fall werden alle drei Stichproben benutzt.
 - bei Waldrandproben mit SP-Zentrum im Wald (Definition Waldrand: Verbindungsline Stammachse Waldrandbäume bzw. Stöcke gemäss Anleitung LFI 3 Kap. 4.4.2) kommt die Spiegelung gemäss WSL-Bericht No. 186 (1993) zur Anwendung.

Bäume, welche nicht im gleichen Stratum liegen wie das Stichprobezentrum, werden nie doppelt erfasst!

Neigung zur Bestimmung des Probekreis-Radius: ca. 5.0 m oberhalb des Stichprobenzentrums mit dem Gefällsmesser über das Stichprobenzentrum bis ca. 5.0 m unterhalb des Stichprobenzentrums in Hangfalllinie die Neigung bestimmen. Bei unregelmässiger Topographie (markante Kreten, Rinnen...) mittlere Neigung bestimmen (mehrere Messungen). Hindernisse (Felsbänder) von mehr als 2 m Höhe werden bei der Neigungsbestimmung nicht berücksichtigt, d.h. die Neigung wird oberhalb oder unterhalb des Hindernisses bestimmt.

- Im Bereich des Walrandes (Gespiegelte Stichproben) wird die mittlere Neigung bestimmt, die für die SP wie für die gespiegelte SP gilt.
- Erhebungen von Bäumen (lebend und tote) mit **Bhd \geq 10 cm**. Falls tot: entsprechende Bemerkung anbringen.

Stehendes Totholz: erfasst wird Holz mit Bhd bzw. Stockdurchmesser \geq 10 cm mit Stammachse im Stichprobenkreis. Kategorien: (analog Kap. 2, Schwemmholz)

Ganzer Baum (inkl. Zopf und Äste \leq 7cm); **Stamm** (keine starken Äste); **Stammstück** (ohne Verzweigungen, Kronenäste, Durchmesser an Bruchstelle \geq 7 cm); **Stock** (Stammstück mit Höhe \leq 1.3 m; auch kleiner als 1.0 m). Volumenberechnung ganze Bäume und Stämme über Tarif, d.h. Angabe Baumhöhe nicht erforderlich; Volumenberechnung Stammstücke und Stöcke über Zylinder- bzw. Kegelstumpfberechnung; d.h. Angabe der Höhe erforderlich.

Liegendes Totholz: erfasst werden Stücke mit einem Mittendurchmesser \geq 10 cm und einer Länge \geq 1.0 m, welche mit einem Mindestdurchmesser \geq 7 cm am Zopf die Kreisfläche berühren. Für die Längenmessung ist die Stelle mit dem Mindestdurchmesser \geq 7 cm am Zopf entscheidend. Weitere Besonderheiten:

- Verzweigte Stücke (Zwiesel, Stämme mit starken Ästen) sind als einzelne Stücke zu behandeln (Volumenbestimmung); nur jene Teile in Probe aufnehmen, die die Aufnahmedingungen erfüllen. Hauptachse berücksichtigen; zusammenhängende Stücke als solche bezeichnen.
- falls das Holzstück ein *ganzer Baum ist, welcher in mehrere Stücke gebrochen* ist, wird nur das Stück vermessen, welches die Kreisfläche berührt.
- als liegendes Totholz zählen auch „*Hänger*“, deren senkrechte Projektion auf die Ebene des Probekreis, diesen schneidet oder innerhalb des Kreises liegt (Aufnahmekriterium) sowie *entwurzelte Stöcke*, deren Höhe auch kleiner als 1.0 m sein kann. Falls das Holzstück nicht beidseitig auf dem Gelände aufliegt bzw. nicht die gleiche Neigung wie die Projektion aufweist: Winkel zwischen dem Stückes und der Projektion aufnehmen und Länge der Projektion des Stückes auf die schiefe Ebene messen. Die wahre Stücklänge l ergibt sich aus: $l = \cos \alpha * S$ (Länge der Projektion)

-
- Bei Waldrandproben erfolgt eine Spiegelung: Teilstück ausserhalb des Waldes wird am Waldrand in der gleichen Richtung wie das liegende Stück zurückgeklappt; Aufnahme (doppelt zählen, resp. entsprechend bezeichnen) sofern das zurückgeklappte Teilstück die Kreisfläche berührt.
 - Kategorien: ganzer Baum, Stammstück mit Stock, Stammstück, Kronenstück, Stock (analog Kap. 2, Schwemmholtz)

5. Bestandesbeurteilung (Formular E)

Beurteilung im Umkreis 15 m um den Mittelpunkt zwischen den beiden Zentren der Kreisstichproben im Waldareal. Liegt nur eine Stichprobe im Waldareal, so wird der Bestand vom Zentrum dieser Stichprobe aus beurteilt. Liegt der Mittelpunkt zwischen zwei Probekreisen ausserhalb der Waldfläche, so wird das Zentrum jener Probefläche als Ausgangspunkt für die Bestandesbeurteilung gewählt, die weiter im Waldesinnern liegt.

Prozesse: ankreuzen, falls innerhalb Kreis mit 15 m Radius vorkommend, bzw. falls die Prozessfläche die Kreislinie schneidet. Falls keine SP im Waldareal, Prozesse auch für Freiland-Stichprobenflächen beurteilen!

- *Rutschungen:* mind. ein Anzeichen für oberflächennahe Rutschbewegungen (Mächtigkeit < 2.0 m) am Hang oder im Uferbereich von Bach und Seitengräben (Anrisse / Buckel > 2.0 m Länge). Auch ältere Anzeichen werden berücksichtigt.
- *Säbelwuchs* (Anzeichen für Schneegleiten oder Bodenbewegung): mindestens 5 lebende Bäume innerhalb der Beobachtungsfläche im Alter Aufwuchs oder älter mit Säbelwuchs (deutliche Stammkrümmung durch Reaktion des Baumes auf bergseitigen Druck bzw. auf Rutschbewegungen).
- *Oberflächenerosion:* freigelegte Wurzeln, vegetationslose Flächen ohne Humusauflage (L,F), zusammenhängende Fläche > 4.0 m².
- *weitere Prozesse* werden angegeben, sofern sie für den Eintrag von Totholz ins Gerinne von Bedeutung sind (z.B. Runsen, Felsabbruch,...).

Gefüge vertikal (nach Ott et al. 1997 und LFI3):

- *einschichtig:* Die Mehrheit der Bäume erreicht die Oberschicht. Deckungsgrad der Mittel- und Unterschicht je unter 20%.
- *zweischichtig:* Zwei Schichten mit einem Deckungsgrad von je mehr als 20%. Datenerhebung sowohl für die Ober- als auch für die Mittelschicht. Die Mittelschicht weist mindestens die Entwicklungsstufe Sth I auf.
- *stufig:* Bestandesbildende Bäume in mehreren, nicht voneinander zu unterscheidenden Höhenbereichen (Horizontalschluss höchstens gruppenweise, Bäume der Mittelschicht können in die Oberschicht aufwachsen) oder Ober-, Mittel- und Unterschicht mit einem Deckungsgrad von je mehr als 20% vertreten. In der Bestandesbeschreibung werden Oberschicht (> 2/3 H_{dom}) und Mittelschicht (> 1/3 H_{dom} und < 2/3 H_{dom})

Bestandesbildende Elemente (nach Ott et al. 1997):

- *Einzelbäume:* Struktur, Stabilität wird durch Einzelbäume geprägt: Die Stabilität des Bestandes entspricht der Stabilität der Einzelbäume (Gerüstbäume).
- *Kleinkollektive:* Eng zusammenstehende, voneinander abhängige Bäume (zwei Bäume bis ungefähr sechs Bäume im Baumholz). Kronenlänge bis ¾ der Baumlänge.

- *Rotten*: Eng zusammenstehende Bäume (zwei Bäume im Baumholz bis 5 Aren) mit gemeinsamem Kronenmantel, Kronenlänge $\frac{3}{4}$ und mehr der Baumlänge.

Entwicklungsstufe: Diese wird sowohl für die Oberschicht, wie für die Mittelschicht eingetragen. Im Fall von stufigen Bestockungen wird der Oberdurchmesser geschätzt und die entsprechende Entwicklungsstufe eingetragen. Stufige Bestände werden gemäss Strukturtyp (ausgeglichen, Untervertretung einer Stärkeklasse) beurteilt und werden zudem im Stärkeklassendiagramm eingetragen.

Mischungsart/-grad: Mischungsart und Mischungsgrad (Deckung) werden pro Baumart angegeben. Anteile nicht kleiner als 10%. Keine Mischungen notieren (Es/Ah 30), sondern jede Baumart für sich. Die Baumart mit dem grössten Mischungsgrad wird als Hauptbaumart eingetragen, die übrigen als Mischbaumarten. Die Hauptbaumart und die (bis zu drei) Mischbaumarten ergeben zusammen 100% Deckungsgrad. Kommen weitere Baumarten vor, werden diese unter "weitere Baumarten" ohne Angabe zum Mischungsgrad notiert.

Kronenschluss: Beurteilt wird die angesprochene Schicht. Massgebend ist der dominierende Aspekt dieser Schicht. Grössere Lücken ($>1/2$ Baumlänge) werden nicht mitgerechnet.

- *gedrängt*: DG>90%; die Kronen der Einzelbäume bedrängen sich gegenseitig, die Kronen sind mehrheitlich deformiert, bzw. einseitig ausgeformt.
- *normal*: DG 80%; die Kronen der Einzelbäume berühren sich gegenseitig, die Kronen sind gut und gleichmässig ausgeformt.
- *locker*: DG 60%; die Kronen berühren sich gegenseitig nicht mehr, die Zwischenräume / Lücken sind kleiner als ein Kronendurchmesser.
- *lückig*: DG 40%; die Kronen berühren sich gegenseitig nicht, die Lücken zwischen den Kronen bieten Raum für einzelne ganze Kronen.
- *aufgelöst*: DG 20%; zwischen den Einzelbäumen bestehen Lücken von der Gösse mehrerer Kronen.

Bestandeslücken: Befinden sich im Umkreis mit Radius 15 m Lücken mit Durchmesser > als einer halben Baumlänge (bezogen auf die Baumhöhe der entsprechenden Oberschicht/Hauptschicht), so sind diese zu vermerken, falls sie unbestockt sind oder eine Entwicklungsstufe < S1 aufweisen.

Ausbildung Mittelschicht: Bei der Mittelschicht wird unterschieden, ob die Bäume *diffus* unter dem Schirm der Oberschicht verteilt sind, oder ob sie in *femelartigen Lücken* vorkommen.

Entwicklungspotential Mittelschicht: als Kriterium für die Brauchbarkeit der Mittelschicht als spätere Oberschicht wird deren *Entwicklungspotential* im jetzigen Zeitpunkt mit „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“ beurteilt. Als Kriterien werden einerseits der Schlankheitsgrad und Schiefstand/Schaffform (hinsichtlich Stabilität), und andererseits die Kronenlänge/Belaubung (hinsichtlich Vitalität), sowie die Jahrestrieblängen herangezogen.

Bestandesstabilität: Gesamtbeurteilung über die 5 stärksten Bäume der Oberschicht auf der Fläche mit 15 m Radius; d.h. der von der Mehrheit der Bäume erreichte Wert bzw. Zustand wird eingetragen. Bei Entwicklungsstufe J/D werden die Stabilitätsparameter nicht erfasst; in der Datenbank werden sie als "gut" bzw. "nicht kritisch" eingetragen.

- *Schlankheitsgrad*: wird als kritisch beurteilt, falls die Bäume wind- oder schneebrechgefährdet sind. Im Allgemeinen bei Schlankheitsgrad > 80, in jüngeren Bestockungen (S1) bis 100.

-
- **Kronenlänge:** angegeben wird der von der Mehrheit der 5 Bäume erreichte Wert. ($> \frac{1}{2}$ Baumlänge, $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$, $< \frac{1}{4}$ Baumlänge). Klebäste und Wasserreiser werden nicht berücksichtigt.
 - **Verankerung:** *gut*: keine Hinweise auf Verankerungsprobleme; *mittel*: Hinweise auf ein flaches Wurzelwerk (vereinzelte Wurzeln verlaufen oberflächlich oder oberflächennah); *schlecht*: deutliche Anzeichen für ein flaches Wurzelwerk (viele Wurzeln verlaufen oberflächennah oder liegen frei an der Oberfläche).
 - **Schiefstand:** *leicht schief*: die Projektion der Kronenspitze liegt zwischen 5% und 10% der Baumhöhe vom Stockmittelpunkt entfernt; *schief/hängend*: die Projektion der Kronenspitze liegt weiter als 10% der Baumhöhe vom Stockmittelpunkt entfernt.
 - **Schäden:** erhoben werden Schäden, welche die 5 angesprochenen Bäume in ihrer Vitalität und Stabilität gefährden können.

Gefährdungen Ansamung/Anwuchs/Aufwuchs: Gefährdung immer angeben, auch wenn keine Verjüngung vorhanden ist. Jeweils max. zwei Gefahren notieren (inkl. Priorisierung).

- **Licht-/Wärmemangel:** bei Ansamung Beschattung durch Bestand sowie Exposition beurteilen; bei An-/Aufwuchs zusätzlich Trieb längen.
- **Vegetationskonkurrenz:** gefährdet, falls Deckungsgrad der Konkurrenz-Vegetation $> 50\%$.
- **Wildverbiss:** Verbiss der Endtriebe bei mehr als 30% der Jungpflanzen.
- **Oberflächenerosion:** bei Ansamung sind Hangneigung, Flächenaspekt (keine Streuauflage, vegetationslos) zu beurteilen; bei An-/Aufwuchs zusätzlich freigelegte Wurzeln, Schiefstand, Streuakkumulationen oberhalb der Pflanzen.
- **Schneegleiten:** mehrere Pflanzen mit deutlichem Säbelwuchs; nur in Steillagen.

Repräsentativität: Sind die Bestockungen in Bachrichtung im Bereich 50 m oberhalb und unterhalb gleich oder ähnlich bezüglich Baumartenzusammensetzung, Entwicklungsstufe, Struktur, so wird die Bestandesbeurteilung als repräsentativ erachtet für die Bestockung auf dem entsprechenden Bachabschnitt auf der orographisch gleichen Bachseite.

6. Vermessung Querprofil Gerinne und Hangprofil (Formular F)

Querprofil: Ausgehend vom Gerinnepunkt *im rechten Winkel zum Bachbett* bis zur Hochwasserlinie detailliert aufgenommen mit zwei Jalons (eines davon mit Wasserwaage). Zwischenpunkte dort, wo markante Geländeveränderungen bestehen. HQ-Linie bei "Bemerkungen" im Protokoll vermerken.

Hangprofil: *Ausgehend von der Hochwasser-Abflusslinie in der Hangfalllinie* mit Messband oder LASER-Distanzmessergerät und Neigungsmesser mindestens bis zum Stichprobenzentrum A (35 m Schrägdistanz ab Hochwasserlinie) das Längenprofil einmessen. Zwischenpunkte dort, wo markante Geländeveränderungen, Waldrand, Fussweg, etc. bestehen. Zwischenpunkte im Protokoll unter „Bemerkungen“ bezeichnen.

A.2 Ergänzungen Kapitel 3

Tab. A.2.1: Angaben zu den Untersuchungsobjekten. Waldeigentum im Einzugsgebiet.

Bach	Einzugs-gebiet (km ²)	Wald-anteil (%)	Öffentliche Waldeigentümer Anz. Parz. / Fläche	Private Waldeigentümer Anz. Eigentümer / Anz. Parz./Fläche
1 Brüggen-waldbach	0.81	33	Korporation Genossame Gersau 2/18 ha	6/6/8 ha
2 Steinibach	1.49	17	Keine	Privatwald 9/11/ 26 ha
3 Seeblibach	1.16	47	Keine	Reservat 1/6.5 ha Privat 7/48.5 ha
4 Ibach	1.64	26	Holzkorporation 1/11.5 ha	10 im Abschnitt 34 /31 ha im EG, teils sehr klein parzelliert
5 Büetschli-graben	2.24	18	keine	40 ha Privatwald
6 Steiglebach	3.02	40	Staatswald: 1/26 ha	Stiftung: 1/40 ha Privat: 4/40 ha
7 Grossbach	2.40	38	Korporation, Gemeinde, insgesamt 91 ha	kein Privatwald
8 Chreuel-bach	0.88	65	Keine	18 Parzellen davon 5 kleine 3 grosse auf rechter Bachseite 11 mit Bachanstoss
9 Geissbach	1.63	45	Schulgemeinde Ebnat: 35 ha Ortsgemeinde Wattwil 29 ha	Keine
10 Ursprung	1.33	50	Pol. Gemeinde Wiesen 66 ha	Keine

Tab. A.2.2: Ereignisse der letzten 20 Jahre mit Schäden oder Holzverfrachtung im Gerinne untersuchten Bächen.

Bach	Murgänge	Rutschungen	Hochwasser	Lawinen
1 Brüggenwaldbach	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag	1999: kleine Rutschungen ohne Schäden und mit geringem Holzeintrag	1999: Geringe Geschiebeumlagerung (<0.5 m) ohne Schäden - bzw. Schwemmholzaustrag	ausgeschlossen
2 Steinibach	Bei lokalen Starkniederschlägen: oberhalb Abschnitt in unbewaldetem Steilhang, bachabwärts nach Zufluss aus dem Bäregggebiet	Häufige flach- bis mittelgründige Rutschungen vor allem auf der linken Seite.	Bei lokalen Starkniederschlägen: bachabwärts nach Zufluss aus dem Bäregggebiet Schwemmholztransport möglich	Mehr oder weniger ausgeschlossen
3 Seeblibach	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag	2001 Gewitter mit Abflussspitze > 2005: geringer Holzeintrag	2001 Gewitter mit Abflussspitze > 2005 geringer Schwemmholztransport	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag
4 Ibach	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag	1999 Unwetter an Pfingsten 2005 Rutschungen reaktiviert	1993/94 starke Hochwasser 1999 Unwetter an Pfingsten 2005 geringe Schwemmholzverlagerungen	Mehr oder weniger ausgeschlossen
5 Büetschligraben	1983 nach heftigem Gewitter 1986 nach heftigem Gewitter	1983	1983: Überschwemmung Zeltplatz	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag
6 Steiglebach	1.-3. Juni 2004 Dauerregen 17.Juli 2004 ; lokales Gewitter	1.-3. Juni 2004 Dauerregen 17.Juli 2004 ; lokales Gewitter	17.Juli 2004 ; lokales Gewitter Schwemmholzverfrachtungen im untersten Bachabschnitt	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag
7 Grossbach	1999 Murgang mit Holztransport (ca. 80 m ³ , nur oberste Abschnitte betroffen), 2002 Murgang mit Geschiebe aus oberen Seitengräben	1999: Unwetter mit Rutschaktivität		Lawine reicht bis knapp in den untersuchten Abschnitt, jedoch kein Holzeintrag
8 Chreuelbach	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag	80er Jahre: flachgr. Rutschungen im Einzugsgebiet	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag	Mehr oder weniger ausgeschlossen
9 Geissbach	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzabtransport	Häufig bei lokalen Gewittern	Keine Ereignisse mit Schäden oder Schwemmholzabtransport	Mehr oder weniger ausgeschlossen
10 Ursprung	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag	Keine Ereignisse mit Schäden oder Holzein- bzw. Austrag	2005 Geringe Erosion und Geschiebeverlagerung	1984 und 1986 Holzeintrag durch Lawinen

A.3 Ergänzungen Kapitel 4

Tab. A.3.1: Daten zum erfassten Schwemmholtz. Angaben in Anzahl Holzstücke (Bäche gemäss Tab. 3.1.)

Parameter / Bäche		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Zustand	1 "gut"	109	305	342	197	243	414	343	333	231	372	2889
	2 "mässig"	147	196	224	129	145	102	172	255	227	256	1853
	3 "schlecht"	216	178	215	159	179	56	172	269	291	251	1986
Stückart	Stammteil	351	347	607	227	339	366	479	651	551	548	4466
	Stammt.+St.	71	162	91	152	129	121	136	144	126	221	1353
	Stock	33	33	38	41	47	39	51	49	63	90	484
	ganzer B.	17	137	45	65	52	46	21	13	9	20	425
Holzart	Ndh	220	270	386	138	291	391	573	239	250	879	3637
	Lbh	117	245	241	237	140	88	34	397	243	0	1742
	nicht bestimmb.	135	164	154	110	136	93	80	221	256	0	1349
Eintrag	Uferer.	13	77	14	61	47	12	20	42	45	20	351
	Rutschung	26	81	52	57	14	82	25	3	7	1	348
	Wind/Fall	44	50	35	20	51	22	12	127	37	8	406
	Verbau	4	4	93	0	0	0	0	5	0	0	106
	lokal unbek.	55	82	125	106	106	74	56	136	63	14	817
	unbek.	330	385	462	241	349	382	574	544	597	836	4700
Schn.	mit S.	105	75	190	33	19	43	98	26	11	49	649
	ohne S.	367	604	591	452	548	529	589	831	738	830	6079
Mob.	mobil	341	371	330	239	381	256	419	444	439	462	3682
	immobil	131	308	451	246	186	316	268	413	310	417	3046
Einfluss	LP	28	40	181	103	29	153	24	99	37	149	843
	S	0	12	35	0	0	0	0	10	53	58	168
	LP+S	12	3	0	10	0	0	0	0	17	0	42
	kein	432	624	565	372	538	419	663	748	642	672	5675
Total		472	679	781	485	567	572	687	857	749	879	6728

Tab. A.3.2: Daten zum erfassten Schwemmholtz. Angaben in Volumen (Bäume gemäss Tab. 3.1.)

Parameter/Bäume	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Zustand	1	13.3	60.2	50.3	33.9	28.8	69.0	30.6	33.7	28.4	23.8
	2	10.7	22.1	25.8	11.6	19.3	9.1	19.4	28.4	23.5	16.9
	3	25	18.3	36.4	14.7	16.2	6.0	33.0	33.1	41.2	18.8
Stückart	Stammteil	28.7	26.5	59.2	13.0	23.8	31.1	40.0	47.4	49.2	27.5
	Stammt.+St.	12.1	23.3	28.0	20.4	22.1	36.2	35.1	32.6	34.6	22.8
	Stock	2.8	2.2	3.2	2.6	2.3	6.4	2.2	3.9	4.9	3.0
	ganzer B.	5.4	48.6	22.1	24.3	16.0	10.3	5.8	11.4	4.4	6.1
Holzart	Ndh	28.2	65.1	77.8	34.6	45.9	70.3	77.5	38.9	51.1	59.4
	Lbh	13.7	23.4	23.5	20.7	12.2	8.5	1.8	47.9	19.4	0.0
	nicht best.	7.1	12.1	11.2	5.0	6.1	5.2	3.8	8.5	22.5	0.0
Eintrag	Uferer.	1.8	16.5	1.8	22.0	11.4	0.9	2.1	9.9	10.9	5.7
	Rutschung	5.4	31.6	20.5	12.1	3.8	31.3	12.1	0.7	6.6	0.0
	Wind/Fall	11.4	10.4	21.2	4.3	12.9	4.4	7.1	42.4	17.3	2.7
	Verbau	0.3	2.5	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0
	lokal unbek.	7.5	10.2	18.9	11.0	15.9	8.6	8.1	15.2	11.1	2.5
	unbek.	22.5	29.4	36.0	10.8	20.3	38.8	53.7	26.2	47.2	48.5
Schn.	mit Schnitt.	13.5	11.9	24.6	3.1	2.7	7.1	18.9	3.3	2.2	3.9
	ohne Schn.	35.5	88.7	87.9	57.2	61.6	76.9	64.2	91.9	90.8	55.5
Mob.	mobil	25.4	22.5	19.9	11.2	24.9	23.3	38.0	20.2	35.5	24.4
	immobil	23.5	78.1	92.6	49.1	39.4	60.7	45.1	75.0	57.5	35.0
Einfluss	LP	2.8	6.2	31.8	13.2	45	20.8	6.3	9.2	5.3	10.7
	S	0.0	3.3	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.9	3.4
	LP+S	2.4	2.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0
	kein	43.8	88.6	68.0	46.1	59.5	63.2	76.7	85.8	80.6	45.4
Total		48.9	100.6	112.5	60.3	64.3	84.0	83.1	95.2	93.0	59.4
											801.2

Tab. A.3.3: Angaben zu Prozessen und Korngrößen in den untersuchten Bächen (Bachbezeichnungen gemäss Tabelle 3.1).

Bach	Tiefen-erosion (m')	Umlagerung (m')	Sohle im Fels (m')	Korndurchmesser d ₉₀ (m)
1	0	0	332	1.1
2	65	378	0	0.7
3	0	338	57	0.3
4	0	32	85	0.7
5	0	0	74	0.9
6	0	165	472	0.7
7	40	713	0	0.7
8	0	15	328	0.22
9	0	0	0	0.68
10	0	0	375	0.56

Tab. A.3.4: Verteilung der Stückart auf die weiteren Stückparameter (in Anzahl Stück).

Stückart	Zustand 1	Zustand 2	Zustand 3	Nadelholz	Laubholz	nicht bestimmbar	Rutschung	Ufererosion	Wind/Fall	lokal unbekannt	unbekannt	immobil	mobil
ganzer Baum	362	41	22	200	220	5	147	143	77	48	10	352	73
Stammstück & Stock	585	366	402	373	725	255	119	131	104	198	801	618	735
Stammstück	1776	1311	1379	1114	2489	863	65	52	220	540	3483	1926	2540
Stock	166	135	183	35	223	226	17	25	5	31	406	146	338
Total	2889	1853	1986	1742	3637	1349	348	351	406	817	4700	3042	3686

Tab. A.3.5: Verteilung des Holzzustandes auf die weiteren Stückparameter (in Anzahl Stück).

Holzzustand	Total	Nadelholz	Laubholz	nicht bestimmbar	Rutschung	Ufererosion	Wind/Fall	Verbau	lokal unbekannt	unbekannt	immobil	mobil
Zustand 1	1986	1530	952	407	239	233	197	92	345	1783	1571	1318
Zustand 2	1053	987	426	440	54	67	82	10	193	1447	764	1089
Zustand 3	2889	1120	364	502	55	51	127	4	279	1470	707	1279
Total	6728	3637	1742	1349	348	351	106	406	817	4700	3042	3686

Tab. A.3.6: Verteilung der Holzart auf die weiteren Stückparameter (in Anzahl Stück).

Holzart	Total	Rutschung	Ufererosion	Wind/Fall	Verbau	lokal unbekannt	Unbekannt	immobil	mobil
Nadelholz	3637	192	154	185	105	425	2576	1722	1915
Laubholz	1742	139	181	212	0	330	880	797	945
nicht bestimmbar	1349	17	16	9	1	62	1244	523	826
Total	6728	348	351	406	106	817	4700	3042	3686

Tab. A.3.7: Verteilung der Eintragsart auf die weiteren Stückparameter (in Anzahl Stück n).

Eintrag	Total	immobil	mobil	Einfluss LP	Einfluss Sti.	Einfluss LP & Sti.	kein Einfluss
Rutschung	348	264	84	64	2	7	275
Ufererosion	351	236	115	38	3	3	307
Wind/Fall	406	281	125	18	4	0	384
Verbau	106	100	6	72	0	0	34
lokal unbekannt	817	415	402	93	4	0	720
unbekannt	4700	1746	2954	558	155	32	3955
Total	6728	3042	3686	843	168	42	5675

Tab. A.3.8: Stehendes Totholz. Prozentangaben: Anteil Stück.

Bach	Total Anzahl/ha	Total Volumen m³/ha	ganze Bäume (%)	Stämme (%)	Stöcke (%)	Nadelholz (%)	Laubholz (%)	nicht best. (%)	Zustand 1 (%)	Zustand 2 (%)	Zustand 3 (%)	Zustand M (%)
1	127	11.0	13	15	73	45	30	25	13	15	70	3
2	293	33.8	15	13	72	64	15	21	12	14	36	38
3	241	20.6	7	16	77	39	21	40	21	19	33	27
4	286	11.7	11	11	74	57	11	32	21	2	46	30
5	267	14.1	6	6	89	36	10	53	18	13	30	40
6	213	18.9	6	10	85	54	6	40	11	11	47	31
7	219	12.6	3	4	93	69	4	27	15	5	46	34
8	147	23.5	29	53	18	56	40	4	51	20	29	0
9	200	22.7	9	6	85	38	14	48	15	9	73	3
10	200	9.3	27	12	61	100	0	0	20	6	52	12
Mittel	220	17.6	12	13	76	56	13	31	20	11	45	25

Tab. A.3.9: Gefährdung Ansamung auf den Beobachtungsflächen (Hauptgefährdung).

Bach	Licht-/Wärmemangel	Erosion/Bodenbew.	Veg.konk.	Wild	Schneegleiten	keine	Total
1	8	6	1	1	1	4	21
2	3	4	2	1	0	11	21
3	3	5	6	1	1	5	21
4	6	8	2	0	0	6	22
5	5	7	5	0	0	5	22
6	5	2	12	0	0	3	22
7	4	3	7	3	2	3	22
8	5	12	0	0	0	0	17
9	3	4	7	0	0	8	22
10	4	0	17	0	0	0	21
Total							

Tab. A.3.10: Gefährdung Anwuchs auf den Beobachtungsflächen (Hauptgefährdung).

Bach	Licht-/Wärmemangel	Erosion/Bodenbew.	Veg.konk.	Wild	Schneegleiten	keine	Total
1	9	3	2	5	1	1	21
2	5	1	2	11	1	1	21
3	4	3	5	6	2	1	21
4	6	5	2	7	0	2	22
5	6	5	2	6	0	3	22
6	4	3	12	0	3	0	22
7	4	3	1	10	3	1	22
8	4	11	0	1	0	0	16
9	4	4	8	1	1	3	21
10	5	0	10	1	5	0	21
Total							

Tab. A.3.11: Gefährdung Aufwuchs auf den Beobachtungsflächen (Hauptgefährdung).

Bach	Licht-/Wärmemangel	Erosion/Bodenbew.	Veg.konk.	Wild	Schneegleiten	keine
1	9	3	0	4	2	3
2	9	1	0	7	2	2
3	3	2	1	9	3	3
4	9	2	0	7	2	2
5	10	4	0	7	0	1
6	7	5	1	2	4	3
7	1	3	0	7	9	2
8	7	9	0	0	0	3
9	6	6	1	3	3	2
10	7	0	0	1	9	4
Total						

A.4 Statistische Auswertungen

Modell mit zwei erklärenden Variablen:

- Anteil stabiler Bestand
- Total Totholz

```
lm(formula = schwemmholtz ~ stabil + tottotal, data = dat1)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-10.22999	-4.44629	-0.06992	4.67703	10.48416

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	81.7896	12.6775	6.452	0.00035 ***
stabil	-2.5321	0.7785	-3.253	0.01401 *
tottotal	0.6955	0.1382	5.033	0.00151 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 7.149 on 7 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8842, Adjusted R-squared: 0.8512

F-statistic: 26.73 on 2 and 7 DF, p-value: 0.0005278

Correlation of Coefficients:

	(Intercept)	stabil
stabil	-0.90	
tottotal	-0.69	0.34

