



FAN

Fachleute Naturgefahren
Spécialistes des dangers naturels
Specialisti in pericoli naturali

2/2022

AGENDA



La Chaîne des Verraux, une partie du périmètre du projet de reboisement « Verraux-Jaman », 10 octobre 2022. Photo : Olivier Dubas.

Inhalt

Schutzwaldpflege in Einzugsgebieten – Anforderungen an die Pflege von Gerinneschutzwäldern.....	4
Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen.....	8
Beurteilung der Gefahr und des Risikos von Hochwassern im Emmental.....	16
Rôle de la forêt protectrice et des ouvrages paravalanches sur les crues torrentielles de la Baye de Montreux.....	20
Calcul du volume de bois flottant et priorisation du rôle protecteur de la forêt : cas d'étude « La Serine ».....	27

Herausgeber / Editeur

FAN Fachleute Naturgefahren
FAN Spécialistes des dangers naturels

Offizielle Adresse / Adresse officielle

Christoph Graf, WSL
Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf
Tel. 044 739 24 54, E-Mail: christoph.graf@wsl.ch

**Sekretariat, Administration, Kurswesen /
Secrétariat, administration, cours**

FAN Sekretariat c/o geo7 AG
Neufeldstrasse 5-9, 3012 Bern
Tel. 031 300 44 33
E-Mail: kontakt@fan-info.ch
Internet: <http://www.fan-Info.ch>

Redaktion FAN-Agenda /**Rédaction Agenda FAN**

Jean-Jacques Thormann, HAFL, Zollikofen
Alexandre Badoux, WSL, Birmensdorf
Martin Frei, MFrei Infra GmbH, Amriswil

Zielsetzung der FAN

Die Tätigkeit der FAN Fachleute Naturgefahren steht im Dienste des Schutzes vor Naturgefahren. Die FAN widmet sich insbesondere dem Thema Weiterbildung bezüglich Lawinen-, Erosions-, Wildbach-, Hangrutsch- und Steinschlaggefahren. Die ganzheitliche, interdisziplinäre Beurteilung und Erfassung von gefährlichen Prozessen sowie die Möglichkeiten baulicher und organisatorischer Schutzmassnahmen stehen im Zentrum.

Mitgliedschaft bei der FAN

Die Mitglieder der FAN sind Fachleute, welche sich mit Naturgefahren befassen. Total umfasst der Fachverein rund 600 Mitglieder aus der ganzen Schweiz und dem nahen Ausland. Mitgliedschaftsanträge sind über die Webseite an die Geschäftsstelle zu richten. Die Mitgliedschaft in der FAN kostet Fr. 100.- / Jahr und steht allen Fachleuten aus dem Bereich Naturgefahren offen.

Objectif de la FAN

La FAN Spécialistes des dangers naturels est au service de la protection contre les dangers naturels. La FAN se consacre en particulier à la formation continue dans le domaine des dangers que représentent les avalanches, l'érosion, les torrents, les glissements de terrain et les chutes de pierres. Elle met aussi l'accent sur deux aspects importants : Les évaluations et les relevés globaux et interdisciplinaires des processus dangereux ainsi que les possibilités de mesures de protection structurelles et organisationnelles sont au centre des activités.

Adhésion à la FAN

Les membres de la FAN sont des spécialistes qui s'occupent de dangers naturels. L'association professionnelle comprend au total environ 600 membres, répartis dans toute la Suisse et de l'étranger proche. Les demandes d'adhésion doivent être adressées au comité directeur via le site web. L'adhésion à la FAN coûte Fr. 100. - / an. Elle est ouverte à tous les spécialistes des dangers naturels.

Avant-propos

Chères lectrices, chers lecteurs

Chers membres de la FAN

L'année 2022 touche déjà à sa fin. En cette période grisâtre de l'année, l'Avent et ses nombreuses lumières nous apportent un moment de recueillement. En 2022, cette saison est malheureusement devenue encore plus sombre. En raison de la menace de pénurie d'électricité, une économie d'éclairage est nécessaire. Néanmoins, l'agenda FAN arrive, comme d'habitude dans vos boîtes aux lettres pendant l'Avent et tente d'égayer un peu ces jours sombres avec cinq articles passionnants et éclairants.

Un grand merci aux différent-e-s auteur-e-s d'avoir pris le temps de s'asseoir derrière leur clavier. Sans tous les collègues qui s'engagent bénévolement à fournir des articles, il n'y aurait pas de numéros aussi intéressants.

Cette édition est placée sous le signe de l'eau. Ces dernières années, l'OFEV a développé, en collaboration avec des représentants de la pratique du Groupe de sylviculture de montagne (GSM), des exigences concernant les forêts protectrices liées aux cours d'eau et l'entretien des forêts protectrices dans les bassins versants. Celles-ci complètent, dans l'aide à l'exécution NaiS ("Gestion durable des forêts de protection"), les exigences relatives aux avalanches, aux chutes de pierres et aux glissements de terrain et font l'objet du premier article. En outre, l'OFEV a édité une publication sur la gestion des ouvrages de protection vieillissants dans les torrents, qui a été élaborée à partir de différents exemples de cas et qui fait l'objet du deuxième article.

Des articles issus de la pratique complètent ce numéro : De nouveaux outils numériques aident à évaluer le danger et le risque de crues dans l'Emmental ; les forêts protectrices et les ouvrages de protection sont analysés quant à leur efficacité contre les crues et les laves torrentielles dans la Baye de Montreux en amont du Lac Léman ; enfin, une méthode pour le calcul du volume de bois flottant et la priorisation des forêts de protection dans le bassin versant de La Serine (également située dans le canton de Vaud) est présentée.

Nous vous souhaitons un joyeux Noël et une bonne nouvelle année.

Rédaction Agenda FAN

Vorwort

Liebe Leserinnen, liebe Leser

Liebe Mitglieder der FAN

Das Jahr 2022 neigt sich bereits wieder dem Ende zu. In der dunklen Jahreszeit bringt uns der Advent mit seinen vielen Lichtern eine Zeit der Besinnlichkeit. Dieses Jahr ist diese Zeit leider dunkler geworden. Wegen der drohenden Strommangellage ist auch beim elektrischen Licht Sparen angezeigt. Die FAN-Agenda flattert trotzdem wie gewohnt im Advent in Eure Briefkästen und soll die düsteren Tage mit fünf spannenden und erleuchtenden Beiträgen etwas aufhellen.

Ganz herzlichen Dank den verschiedenen Autorinnen und Autoren, dass sie sich die Zeit genommen haben sich hinter die Tastatur zu setzen. Ohne all die Kolleginnen und Kollegen, die mit freiwilligem Engagement Beiträge liefern, kämen keine solch interessanten Ausgaben zu Stande.

Diese Ausgabe steht ganz im Zeichen des Wassers. Das BAFU hat in den letzten Jahren zusammen mit Praxisvertretern der Gebirgswaldpflegegruppe GWG Anforderungen an die Gerinneschutzwälder und die Schutzwaldpflege in Einzugsgebieten entwickelt. Diese ergänzen in der Vollzugshilfe NaiS («Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald») die Anforderungen bezüglich Lawine, Steinschlag und Rutschung und sind Thema des ersten Beitrags. Dazu hat das BAFU eine Publikation zum Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen herausgegeben, die anhand von verschiedenen Fallbeispielen erarbeitet wurde und im zweiten Artikel behandelt wird.

Mit Beiträgen aus der Praxis wird die Ausgabe abgerundet: Neue digitale Hilfsmittel helfen bei der Beurteilung der Gefahr und des Risikos von Hochwassern im Emmental; Schutzwald und Schutzbauten werden auf ihre Wirksamkeit gegen Hochwasser und Murgänge in der Baye de Montreux oberhalb des Genfersees analysiert; zum Abschluss wird eine Methode zur Berechnung des Schwemmholzvolumens und zur Priorisierung des Schutzwaldes im Einzugsgebiet der ebenfalls im Kanton Waadt gelegenen Serine vorgestellt.

Wir wünschen Ihnen eine besinnliche Weihnachtszeit und einen guten Rutsch ins neue Jahr.

Redaktion FAN-Agenda

Schutzwaldpflege in Einzugsgebieten

Anforderungen an die Pflege von Gerinneschutzwäldern

Benjamin Lange¹ (benjamin.lange@bafu.admin.ch)

Samuel Zürcher² (samuel.zuercher@ibw.ch)

Eva Gertsch-Gautschi³ (eva.gertsch@bafu.admin.ch)

Stéphane Losey¹ (stephane.losey@bafu.admin.ch)

¹ Bundesamt für Umwelt BAFU, Sektion Rutschungen, Lawinen und Schutzwald, Ittigen

² Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, Maienfeld

³ Bundesamt für Umwelt BAFU, Sektion Hochwasserschutz, Ittigen

Résumé

La majorité de toutes les forêts protectrices en Suisse protègent contre l'apport de matériaux de charriage et de bois flottant dans les chenaux susceptibles de causer des dommages. En 2021, les exigences en matière d'entretien de ces forêts de protection des cours d'eau ont été actualisées. Alors qu'il est possible de définir des exigences claires pour la forêt protectrice dans la pente bordant le cours d'eau, cela n'est pas possible dans la zone d'écoulement des laves torrentielles et des crues. Ici, les objectifs et les mesures sylvicoles doivent être adaptés aux processus spécifiques de dangers naturels et à la situation locale. Pour cela, une collaboration entre les spécialistes forestiers et ceux de l'aménagement des cours d'eau est nécessaire.

La manière dont la forêt protectrice doit être entretenue et les mesures proportionnées dépendent de manière décisive de l'enchaînement des processus entre la surface d'intervention et le potentiel de dommages. Cet enchaînement des processus doit donc être pris en compte lors des interventions en forêt protectrice.

Zusammenfassung

Die Mehrheit aller Schutzwälder in der Schweiz schützen vor Geschiebe- und Schwemmholzeintrag in schadenrelevante Gerinne. 2021 wurden die Anforderungen an die Pflege dieser Gerinneschutzwälder aktualisiert. Während im Gerinneinhang klare Anforderungen an den Schutzwald definiert werden können, ist dies im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser nicht möglich. Hier müssen die waldbaulichen Ziele und Massnahmen auf

die spezifischen Naturgefahrenprozesse und die lokale Situation abgestimmt werden. Dafür ist eine Zusammenarbeit zwischen Wald- und Wasserbaufachleuten nötig.

Wie der Schutzwald gepflegt werden soll und welche Massnahmen verhältnismässig sind, hängt entscheidend von der Prozesskette zwischen der Eingriffsfläche und dem Schadenpotenzial ab. Diese Prozesskette muss darum bei Schutzwaldeingriffen mitberücksichtigt werden.

Einleitung

Schutzwälder sind Wälder, die ein Schadenpotenzial vor einer Naturgefahr schützen oder die damit verbundenen Risiken reduzieren. Als Gerinneschutzwälder gelten jene Waldflächen, die den Geschiebe- und Schwemmholzeintrag in Gewässer vermindern, welche weiter unten durch Murgänge oder Übersarungen das Schadenpotenzial gefährden. Die kantonalen Schutzwaldausscheidungen erfolgten dabei schweizweit nach einheitlichen Kriterien, die im Projekt «SilvaProtect-CH» festgelegt wurden (Losey & Wehrli, 2013). Mit Hilfe einer einheitlichen Modellierung bestimmten die Kantone bei der Ausscheidung der Gerinneschutzwälder zuerst die Gewässer, die durch Murgang oder Übersarung für Schäden sorgen können. Als Gerinneschutzwälder wurden dann diejenigen Waldflächen ausgeschieden, von denen Feststoffe durch Naturgefahrenprozesse in diese schadenrelevanten Gewässer transportiert werden können. Berücksichtigt wurden die Prozesse Erosion, Rutschung, Lawinen und Steinschlag. Im Wasserschloss Schweiz schützt die Mehrheit der Schutzwälder vor Gerinneprozesse. Kein Schutzwald gemäss SilvaProtect ist hingegen

Wald, der ausschliesslich den Wasserabfluss günstig beeinflusst (reiner «Hochwasserschutzwald»).

Damit diese Schutzwälder ihre Funktion nachhaltig erfüllen können, müssen sie in den meisten Fällen gepflegt werden. Diese Schutzwaldpflege ist häufig herausfordernd. So haben die Wälder zwar eine Schutzwirkung und vermindern den Feststoffeintrag in schadenrelevante Gewässer. Einzelne Bäume können aber bei Naturgefahrenereignissen in Form von Schwemmholz auch zur Gefahr werden, insbesondere wenn sie nahe am Gewässer stocken. Zudem erbringen Wälder entlang von Gewässern häufig auch weitere Leistungen wie zum Beispiel für die Biodiversität, die Fischerei oder für Erholungssuchende. Diese Interessen müssen bei der Schutzwaldpflege mitberücksichtigt werden.

Die Vollzugshilfe NaiS (Abkürzung für «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald», Frehner et al., 2005) beschreibt für verschiedene Naturgefahren Zielzustände für den Schutzwald. Dabei wird ein sogenanntes Minimal- und ein Idealprofil festgelegt. Das Idealprofil bezieht sich auf den Zielzustand des Schutzwaldes. Das Minimalprofil ist die Messlatte für den Handlungsbedarf: Ist der Zustand des Waldes schlechter als das Minimalprofil, besteht grundsätzlich Handlungsbedarf. Bisher fehlten in NaiS klare Anforderungen an die Pflege von Gerinneschutzwäldern. Das bisherige Anforderungsprofil «Wildbach, Hochwasser» hatte vor allem das Ziel, den Spitzenabfluss zu vermindern und Schwemmholz zu reduzieren. Die übrigen Naturgefahrenprozesse, die Feststoffe in den Bach eintragen können, wurden nur am Rande berücksichtigt. Daher wurde in Gerinneinhängen oft das

Anforderungsprofil «Rutschungen, Erosion, Murgänge» angewandt. Aus der Praxis kam darum das Anliegen auf, die Anforderungen zu aktualisieren und stärker auf diejenigen Prozesse auszurichten, die im Gerinneschutzwald relevant sind. In Zusammenarbeit mit Kantonen, Vertretern der Wissenschaft, der Praxis und Bildungsinstitutionen sowie der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe und des BAFU wurden die Anforderungen deswegen überarbeitet. Das seit Ende 2021 publizierte Anforderungsprofil «Gerinneabhängige» löste das bisherige Anforderungsprofil «Wildbach, Hochwasser» ab.

Waldbaulich relevante Bereiche

Grundsätzlich existieren in Gerinneschutzwäldern zwei räumlich getrennte Bereiche mit unterschiedlichen Anforderungen an die Schutzwaldpflege: Der Abflussbereich von Murgang / Hochwasser (Zone 1) und der Gerinneabhängige (Zone 2, siehe Abbildung 1). Die Grenzen zwischen den beiden Zonen bildet die Hochwasser bzw. Murganglinie bei einem Extremereignis. Zwischen diesen zwei Zonen befindet sich je nach Situation ein unterschiedlich grosser Übergangsbereich.

Abflussbereich von Murgang & Hochwasser (Zone 1)

Prozesse und Baumwirkung

Im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser (Zone 1) werden durch Murgänge oder Hochwasser Geschiebe bzw. Schwemmholt Richtung Schadenpotenzial transportiert. Je nach Prozess und Situation wirken sich Bäume in dieser Zone sehr unterschiedlich auf die Gefährdung aus. Abbildung 2 zeigt exemplarisch zwei entsprechende Situationen: Beim steilen Wildbach (Drostobel) kann ein Murgang auch stabile Bäume mitreisen und dadurch seine Zerstörungskraft vergrössern. Entlang des eher schmalen, flacher verlaufenden Schmitzenbachs hingegen können stabile, starke Bäume vor Ufererosion schützen. In der

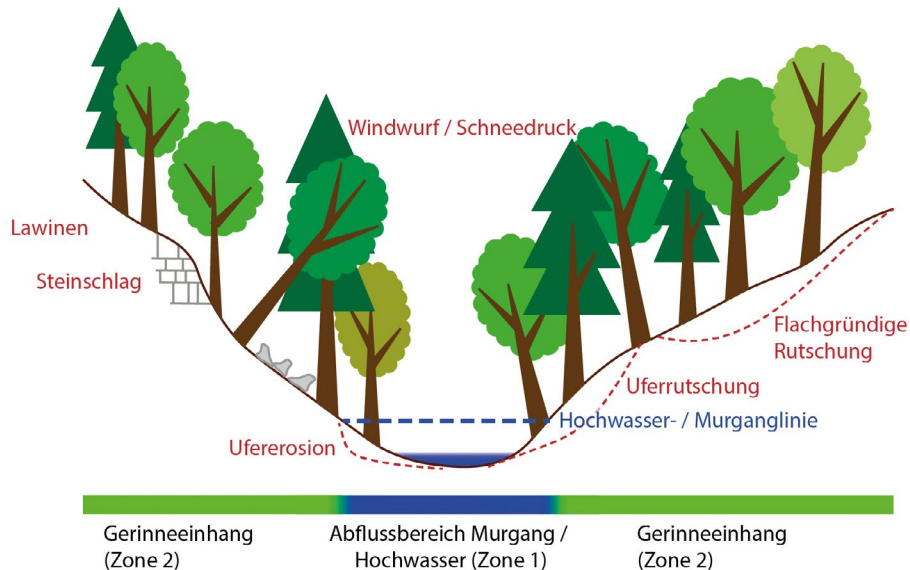


Abbildung 1: Querschnitt durch einen Gerinneschutzwald. Die Hochwasser- / Murganglinie trennt Zone 1 (Abflussbereich Murgang / Hochwasser) und Zone 2 (Gerinneabhängig). Rot: Mögliche Prozesse, die Geschiebe und Schwemmholt ins Gewässer eintragen können (Quelle: BAFU, 2021).

einen Situation verbessern Bäume in Zone 1 damit den Schutz vor Naturgefahren, in der anderen erhöhen die Bäume das Risiko für das Schadenpotenzial zusätzlich. Demensprechend unterscheiden sich auch die Zielsetzungen für die Schutzwaldpflege deutlich.

Entscheidende Eigenschaften des Einzugsgebiets

Entscheidend für die waldbauliche Zielsetzung im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser ist zudem die Wahrscheinlichkeit, dass Geschiebe und Holz von einer Eingriffsfläche tatsächlich schadenrelevant werden. Dies hängt von vielen Faktoren ab. Dazu gehören die Eigenschaften der Schwachstellen, die Distanz von der Eingriffsfläche zur Schwachstelle, mögliche Um- und Ablagerungstrecken zwischen Eingriffsfläche und Schwachstelle, die Transportkapazität des Gerinnes usw. Beispielhaft sind in Abbildung 3 zwei Brücken über den Schmitzenbach abgebildet, die sich bezüglich Verklausungsrisiko erheblich unterscheiden. Damit genügt es bei Massnahmen im Gerinneschutzwald nicht, nur die Eingriffsfläche zu betrachten. Entscheidend ist die ganze Prozesskette von der Eingriffsfläche bis zum möglichen Ort der Gefährdung.

Situative Anforderungen an den Schutzwald

Aufgrund der oben erwähnten unterschiedlichen Eigenschaften von Einzugsgebieten und Schwachstellen können in NaIS für Zone 1 keine allgemein gültigen Anforderungen an den Schutzwald festgelegt werden. Vielmehr müssen die Anforderungen abgestimmt auf die lokalen Gegebenheiten definiert werden.

Dies bedingt neben waldbaulichen Fachkenntnissen auch jene von Wasserbau- respektive Naturgefahrenfachleuten. Sie verfügen über das nötige Fachwissen zu den Prozessen im Gewässer und zur Naturgefahrensituation. In vielen Kantonen haben sie auch die Aufsicht über die Gewässer. Darum beurteilen Forst- und Wasserbauverantwortliche gemeinsam das Gerinne und legen im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser die waldbaulichen Ziele fest. Dabei werden die Eigenschaften des Einzugsgebietes, Standorteigenschaften und weitere Interessen, wie zum Beispiel von Naturschutz und Fischerei, mitberücksichtigt. Wie die Zusammenarbeit zwischen Wasserbau- und Waldverantwortlichen erfolgt, wird vom jeweiligen Kanton selber festgelegt und hängt von der jeweiligen Organisationsstruktur ab. So sind verschiedene Lösungen denkbar:

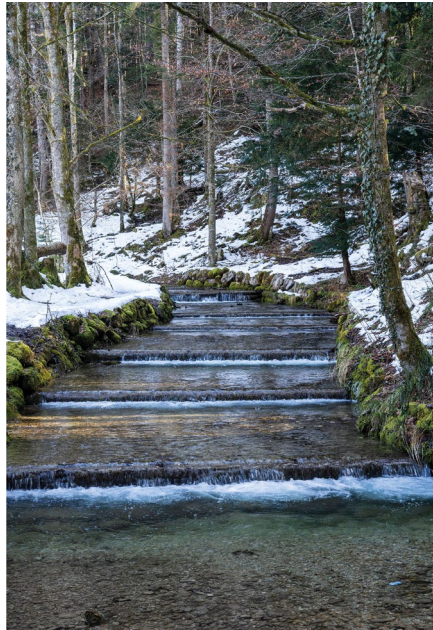


Abbildung 2: Die Anforderungen an den Schutzwald unterscheiden sich je nach Eigenschaften des Einzugsgebiets erheblich. Links: Drostobel (GR), rechts: Schmittenbach (ZH) (Quelle: Benjamin Lange, 2018 / 2022).



Abbildung 3: Unterschiedliche Schwachstellen entlang des Schmittenbachs in Wald (ZH), welche die waldbauliche Zielsetzung mitentscheiden (Quelle: Benjamin Lange, 2022).

Idealerweise erfolgt die Diskussion zwischen Wald- und Wasserbauverantwortlichen bei jedem Gerinne. Es kann aber auch zielführend sein, gemeinsam einige repräsentativen Gerinne zu charakterisieren und bei der Herleitung waldbaulicher Massnahmen in anderen Gerinnen darauf zu verweisen.

Um die Praxis bei der Definition der Ziele und der Herleitung des waldbaulichen

Handlungsbedarfs in Zone 1 zu unterstützen, wurde im neu publizierten NaiS-Kapitel zum Anforderungsprofil eine Checkliste integriert, die mögliche relevante Aspekte aufzeigt. Wichtig ist ebenfalls, dass die Ziele und verhältnismässigen Massnahmen dokumentiert werden um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Wiederum ist es den Kantonen überlassen, wie sie dies um-

setzen. Auf der Homepage nais-form2.ch steht aber eine entsprechende Möglichkeit zur Verfügung.

Gerinneinhang (Zone 2)

Anforderungen an den Schutzwald

Mit der Schutzwaldpflege in den Gerinneinhängen (Zone 2) soll der Feststoffeintrag in den Abflussbereich von Murgang und Hochwasser reduziert werden. Rutschungen und Erosion sind dabei die häufigsten Eintragsprozesse. In höheren Lagen kommen Lawinen dazu. Steinschlag ist hingegen nur in seltenen Fällen der dominante Prozess für die Geschiebelieferung. Gerade in höheren Lagen überlagern sich in Gerinneinhängen häufig mehrere Naturgefahrenprozesse, die sich unterschiedlich stark am Feststoffeintrag beteiligen. Auf welche Naturgefahr die Schutzwaldpflege ausgerichtet werden soll, ist darum in der Praxis oft nur schwierig zu bestimmen. Um das Anforderungsprofil praxistgerecht zu gestalten, wurden darum die bestehenden Anforderungsprofile «Rutschungen, Erosion, Murgänge» und «Lawinen» kombiniert: Lücken sollen nicht zu gross ausfallen und eine bestimmte Länge in Falllinie nicht überschreiten, damit keine Lawinen oder Rutschungen anreissen. Ein minimaler Deckungsgrad stellt die Wurzelverstärkung über die Fläche sicher und stört einen gleichmässigen Schneedeckenaufbau. Tabelle 1 zeigt das Minimal- und Idealprofil gemäss NaiS.

Wälder in Einzugsgebieten schadenrelevanter Gerinne wirken sich immer auch auf den Wasserkreislauf aus. Die daraus resultierenden Anforderungen an den Wald decken sich grundsätzlich mit denjenigen aufgrund der Naturgefahr «Gerinneprozesse»: Grössere Lücken sind zu vermeiden und ein minimaler Deckungsgrad sowie ein stufiger, baumartenreicher Bestand fördert eine gute Durchwurzelung des Bodens und stellt damit die Wasserspeicherleistung des Bodens, die Transpiration und Interzeption sicher.

Tabelle 1: Anforderungsprofil gemäss NaiS für Gerinneschutzwälder (Quelle: BAFU, 2021).

Ort	Anforderungen aufgrund der Naturgefahr minimal	Anforderungen aufgrund der Naturgefahr ideal
Abflussbereich Murgang / Hochwasser (Zone 1)	Wald- und Wasserbauverantwortliche definieren gemeinsam die Ziele, leiten die wirksamen und verhältnismässigen Massnahmen her und richten sie auf die relevanten Schwachstellen aus.	
Gerinneeinhang (Zone 2)	Lückenzlänge in Falllinie max. 30 m	Lückenzlänge in Falllinie max. 20 m
	Lückengrösse max. 12 Aren	Lückengrösse max. 6 Aren
	Deckungsgrad dauernd über 50 %	Deckungsgrad dauernd über 60 %
	Höchstens wenig mobilisierbare Bäume und rutschgefährdetes Holz	Keine mobilisierbaren Bäume und kein rutschgefährdetes Holz
	Minimale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt	Ideale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt

Nachhaltiger Schutzwald

In der Vollzugshilfe NaiS werden nicht nur Zielzustände an den Wald aufgrund der Naturgefahr festgelegt, sondern auch solche aufgrund des Waldstandortstyps. Hintergrund dafür ist, dass eine möglichst nachhaltige Schutzwirkung erreicht werden soll. So orientieren sich die Anforderungen gemäss Standort an einem Waldzustand, der einem standortgerechten Naturwald entspricht. Für die Anforderungen gemäss Standort wurde ein Bereich der natürlichen Waldentwicklung ausgewählt, in dem alle Schlussbaumarten gut vertreten sind und in dem auch eine Strukturierung, hohe Stabilität sowie genügende Verjüngung gewährleistet ist. So wird die Schutzwaldpflege an die standörtlichen Verhältnisse angepasst und die Resilienz und Resistenz gegenüber Störungen ist gewährleistet was den Pflegeaufwand langfristig minimiert.

Diese Anforderungen gemäss Standort gelten - wie bei den anderen Anforderungsprofilen - auch im Gerinneeinhang. Im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser können hingegen keine sinnvollen Anforderungen gemäss Waldstandortstyp definiert werden: Hier wechseln die Standortbedingungen oft sehr kleinräumig und es kommen zusätzliche Anforderungen an die Bäume hinzu. Dazu zählen zum Beispiel die Fähigkeit, in teilweise vernässten Böden zu wurzeln oder die Regenerationsfähigkeit bei Stamm- und Wurzelverletzungen. Aus diesem Grund müs-

sen die Fachleute situativ entscheiden, welche Baum- und Straucharten im Abflussbereich von Murgang und Hochwasser geeignet sind wobei auch hier die natürlich vorkommenden Arten im Vordergrund stehen.

Entscheidende Prozesskette

Bei allen waldbaulichen Entscheidungen im Gerinneschutzwald ist die Prozesskette von der Eingriffsfläche bis zu den Schwachstellen ein zentraler Faktor. Wichtig ist die Beurteilung, welche Gefahr von Prozessen auf der Eingriffsfläche für das Schadenpotenzial ausgeht und wie mit der Schutzwaldpflege diese Gefährdung reduziert werden kann. Der Detaillierungsgrad dieser Beurteilung ist jedoch der jeweiligen Situation anzupassen. Diese Beurteilung ist auch zentral bei der Abschätzung, ob ein Schutzwaldeingriff verhältnismässig ist: So kann ein bestimmter Eingriff zwar verhältnismässig sein, wenn damit eine grosse Risikoreduktion erreicht wird. Ein gleich teurer Eingriff kann aber auch unverhältnismässig sein, wenn die Prozesse auf der Eingriffsfläche das Schadenpotenzial nur wenig gefährden.

Die Herleitung von sinnvollen waldbaulichen Massnahmen im Gerinneschutzwald ist daher herausfordernd und benötigt sowohl waldbauliches Fachwissen wie auch Kenntnisse über die relevanten Naturgefahrenprozesse in den Einhängen und Gerinnen. NaiS bietet gewisse Grundlagen für Pflege von Gerinneschutzwäldern. Gerade in Schutzwäldern ent-

lang von Fleissgewässern ist es aber besonders wichtig, dass die Ziele, Massnahmen und deren Verhältnismässigkeit interdisziplinär von Fachleuten mit lokalen Kenntnissen beurteilt werden.

Weitere Informationen

- Das Anforderungsprofil «Gerinneprozesse» kann auf der BAFU-Homepage oder derjenigen der Fachstelle für Gebirgswaldpflege (gebirgswald.ch) heruntergeladen werden.
- Das NaiS-Formular 2 zur Herleitung des Handlungsbedarfs im Gerinneschutzwald ist auf folgender Homepage zu finden: nais-form2.ch
- Ein Fallbeispiel zur Herleitung des Handlungsbedarfs im Gerinneschutzwald ist auf der Homepage der Fachstelle für Gebirgswaldpflege (gebirgswald.ch) publiziert.

Literatur

Frehner, M. Wasser, B. Schwitter, R. (2005). Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bundesamt für Umwelt, Wald & Landschaft.

Losey, S. & Wehrli, A. (2013). Schutzwald in der Schweiz. Vom Projekt SilvaProtect-CH zum harmonisierten Schutzwald. Bundesamt für Umwelt.

Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen

Erfahrungen und Empfehlungen

Eva Gertsch-Gautschi¹ (eva.gertsch@bafu.admin.ch)
 Adrian Schertenleib¹ (adrian.schertenleib@bafu.admin.ch)
 Catherine Berger² (catherine.berger@geo7.ch)
 Maïke Schneider² (maïke.schneider@geo7.ch)
 Markus Zimmermann³ (markus.zimmermann@ndr.ch)
 Sandro Rittler⁴ (sandro.rittler@holinger.com)

¹ Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

² geo7 AG geowissenschaftliches Büro, Bern

³ NDR Consulting GmbH, Thun

⁴ HOLINGER AG, Olten

Résumé

Des milliers d'ouvrages de protection ont été construits dans les torrents suisses depuis le milieu du 19^{ème} siècle. Nombre d'entre eux ont pris de l'âge et ne répondent plus aux exigences techniques de sécurité, économiques et écologiques qui leur sont imposées. Comment aller de l'avant ? Faut-il conserver le système de protection dans sa fonction, l'adapter ou le concevoir à nouveau ? La nouvelle publication de l'Office fédéral de l'environnement OFEV sur la gestion des systèmes de protection vieillissants dans les torrents présente des recommandations et des expériences qui aident à trouver une solution globale au niveau du concept. La publication guide de manière structurée à travers le processus décisionnel et incite à examiner toutes les possibilités sans préjuger des résultats. Les expériences faites dans dix torrents suisses illustrent le procédé. Des étapes concrètes de clarification et des recommandations d'action aident les praticiens à trouver des solutions.

Zusammenfassung

In den Schweizer Wildbächen wurden seit Mitte des 19. Jahrhunderts tausende Schutzbauten erstellt. Viele davon sind in die Jahre gekommen und erfüllen die an sie gestellten sicherheitstechnischen, wirtschaftlichen und ökologischen Anforderungen nicht mehr. Wie weiter? Soll das Schutzsystem in seiner Funktion erhalten, angepasst oder neu konzi-

piert werden? In der neuen Publikation zum Umgang mit alternden Schutzsystemen des Bundesamts für Umwelt BAFU werden Empfehlungen und Erfahrungen präsentiert, welche bei der gesamtheitlichen Lösungsfindung auf Konzeptstufe unterstützen. Die Publikation führt strukturiert durch den Entscheidungsprozess und regt zu einer ergebnisoffenen Prüfung aller Möglichkeiten an. Erfahrungen aus zehn Schweizer Wildbächen veranschaulichen das Vorgehen. Konkrete Abklärungsschritte und Handlungsempfehlungen unterstützen die Praxis bei der Lösungsfindung.

Ausgangslage

Wildbachverbauungen haben in der Schweiz Tradition. Seit der Einführung des Eidgenössischen Forstgesetzes im Jahr 1876 wurden unsere Wildbäche umfangreich mit Entwässerungsgräben, Hangsicherungen, Sperrentropfen, Geschiebesammlern, Dämmen und anderen Bauwerken verbaut. Diese Massnahmen ermöglichen seit dem 20. Jahrhundert eine intensivere Nutzung der Schwemmkegel.

Der Wiederbeschaffungswert der heute in der Schweiz bestehenden Hochwasserschutzinfrastruktur wurde am BAFU mittels zwei unabhängiger Methoden abgeschätzt. Er liegt bei rund 35–40 Mrd. CHF. Ein grosser Teil dieser Infrastruktur befindet sich in Wildbächen in Form von Tausenden von Schutzbauten unterschiedlichen Alters und Zustands. Mit einem vorausschauenden Schutzbautenma-

agement lässt sich die Lebensdauer dieser Schutzsysteme verlängern. Viele Schutzsysteme gehen aber zunehmend dem Ende ihrer Lebensdauer entgegen. Bei der Diskussion über ihre Zukunft stellt sich die Frage, ob sie in ihrer ursprünglichen Art und Weise den heutigen Anforderungen noch genügen, so z.B. aktuell an der Gürbe (Abb. 1). Diese Anforderungen haben sich nämlich über die Jahrzehnte stark verändert. Der Umgang mit Naturgefahren besteht heute nicht mehr in einer reinen Gefahrenabwehr, sondern wird mittels integralem Risikomanagement angegangen. Es stehen dabei nicht mehr nur rein bauliche Massnahmen im Fokus, sondern eine optimale Kombination aus raumplanerischen, organisatorischen, technischen und ingenieurbioologischen Massnahmen. Heute müssen Schutzsysteme höheren Ansprüchen genügen und robust bei Überlastung sowie flexibel gegenüber Unsicherheiten wie z.B. sich ändernden Gefahren aufgrund des Klimawandels sein. Der wirtschaftliche Mitteleinsatz der öffentlichen Hand muss ebenfalls gewährleistet sein. Im Vergleich zu früher ist den ökologischen und landschaftlichen Aspekten mehr Beachtung zu schenken. Eine Überprüfung eines bestehenden Schutzsystems ist deshalb unumgänglich, bevor grössere Investitionen zu seinem Erhalt oder Ersatz getätigt werden.

Insgesamt wird der Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen zunehmend

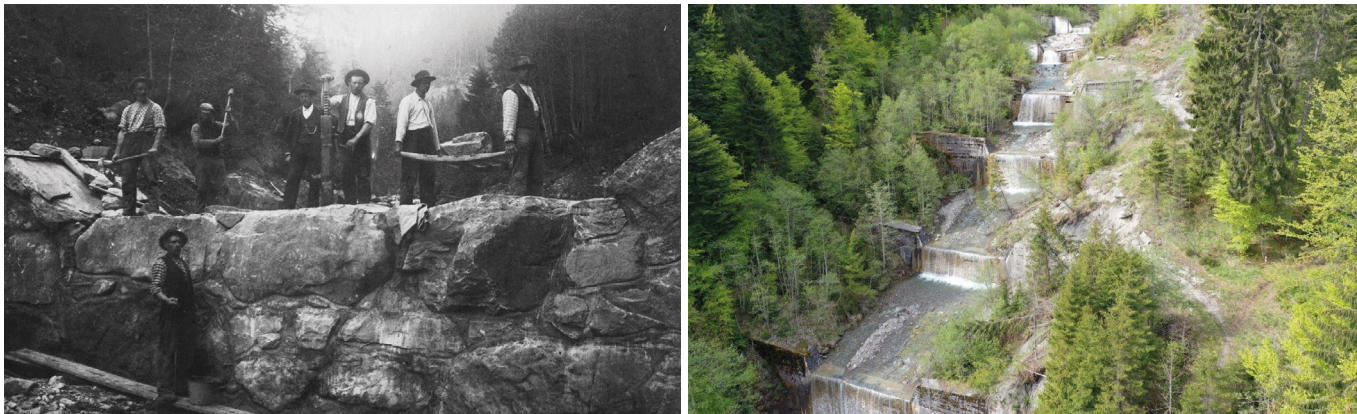


Abbildung 1: Gürbesperren um 1900 (links, C. Bähler aus Salvisberg) und im Jahr 2021 (rechts, Ingenieurbüro Speerli GmbH).

eine Herausforderung. Dies hat das Bundesamt für Umwelt BAFU bewogen, Erfahrungen bei der Überprüfung von alternden Schutzsystemen aus der Praxis aufzuarbeiten und als Empfehlungen einem breiten Publikum zugänglich zu machen. Die Publikation «Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen – Erfahrungen und Empfehlungen» ist im Juli 2022 auf Deutsch und Französisch veröffentlicht worden und erscheint im Dezember 2022 auf Italienisch (BAFU, 2022). Die Publikationen können auf der Homepage des BAFU heruntergeladen werden (Link siehe Literaturverzeichnis).

Ziele des BAFU

Das BAFU verfolgt mit der Publikation «Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen – Erfahrungen und Empfehlungen» die folgenden Hauptziele:

- Teilen von bisherigen Erfahrungen beim Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen für ein breites Publikum von Fachleuten auf allen Ebenen (Gemeinden, Kantone, Bund, Privatwirtschaft). Das Wort «alternd» bezieht sich dabei weniger auf das absolute Alter als vielmehr auf die Tatsache, dass ein bestehendes Schutzsystem den aktuellen Ansprüchen nicht mehr gerecht wird und folglich nicht mehr zweckmässig ist.

- Inspirieren zu einer ganzheitlichen Systembetrachtung bei der Überprüfung von Schutzsystemen und zum bewussten Nachdenken über Systemerhalt, Systemanpassungen oder Systemwechsel bei den baulichen Massnahmen anlässlich des Variantenstudiums.
- Bereitstellen eines strukturierten, nachvollziehbaren Vorgehens für die Überprüfung von Schutzsystemen in Wildbächen. Dieses kann u.a. auch als Grundlage zur Erfüllung des Mehrleistungskriteriums „Überprüfung Schutzsystem“ im Themenbereich Schutzbautenmanagement dienen, welches ab der Programmperiode 2025-28 für Mehrleistungen bei Einzelprojekten nach Wasserbaugesetz WBG und Waldgesetz WaG gilt.

Einordnung der Publikation im Schutzbautenmanagement

Die neue Publikation lässt sich in das Schutzbautenmanagement ganz allgemein (Abb. 2) und spezifisch in das Lebenszyklusmodell von Schutzbauten (Abb. 3) oder jenes des Systems Engineering für Schutzsysteme (Abb. 4) einordnen. Im Zentrum der vorliegenden Publikation steht jedoch nie ein einzelnes Bauwerk, sondern immer das gesamte Schutzsystem.

Im Schutzbautenmanagement (Abb.2) wird periodisch der Zustand der Schutzbauten systematisch erfasst und bewertet. Als Reaktion auf festgestellte Mängel werden Massnahmen geplant und umgesetzt (BAFU, 2018). Das Schutzbautenmanagement ist Teil der Gesamtplanung zur Umsetzung des Integrierten Risikomanagements IRM in einem Gebiet.

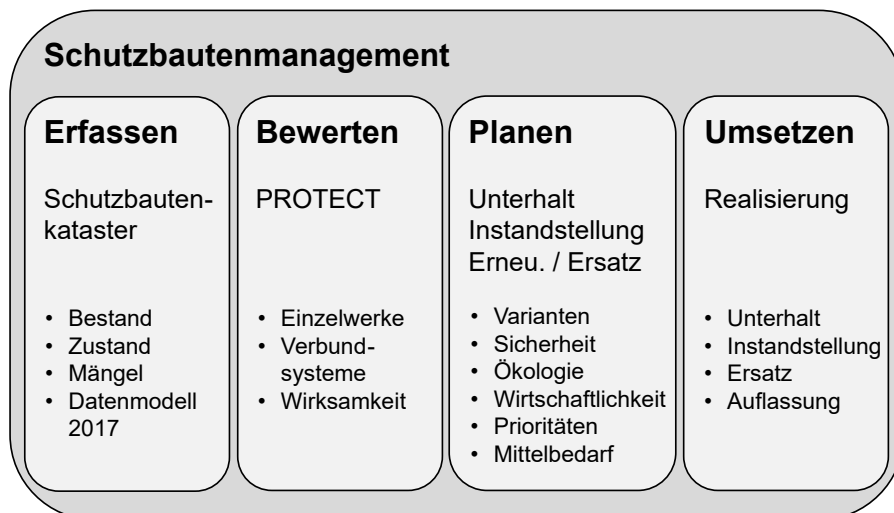


Abbildung 2: Phasen des Schutzbautenmanagements.

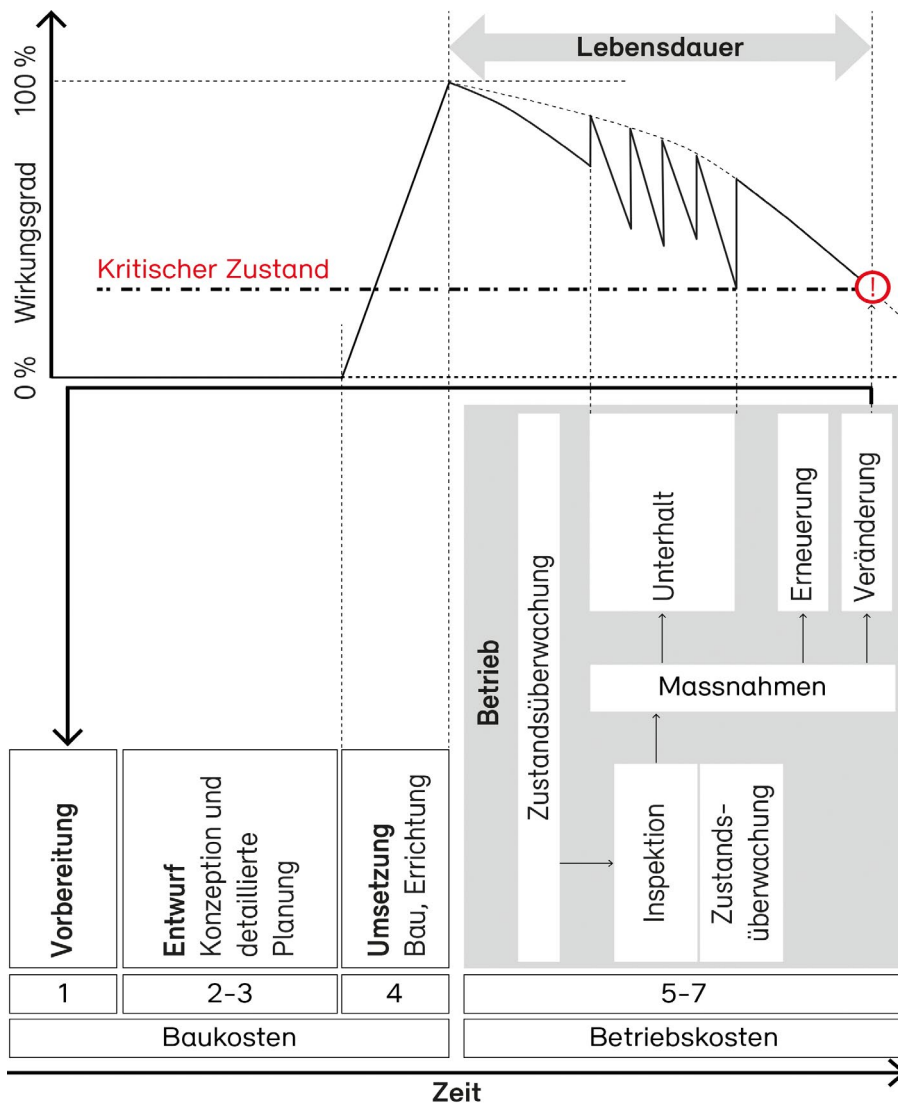


Abbildung 3: Lebenszyklusmodell von Schutzbauten nach Suda (2012), angepasst.

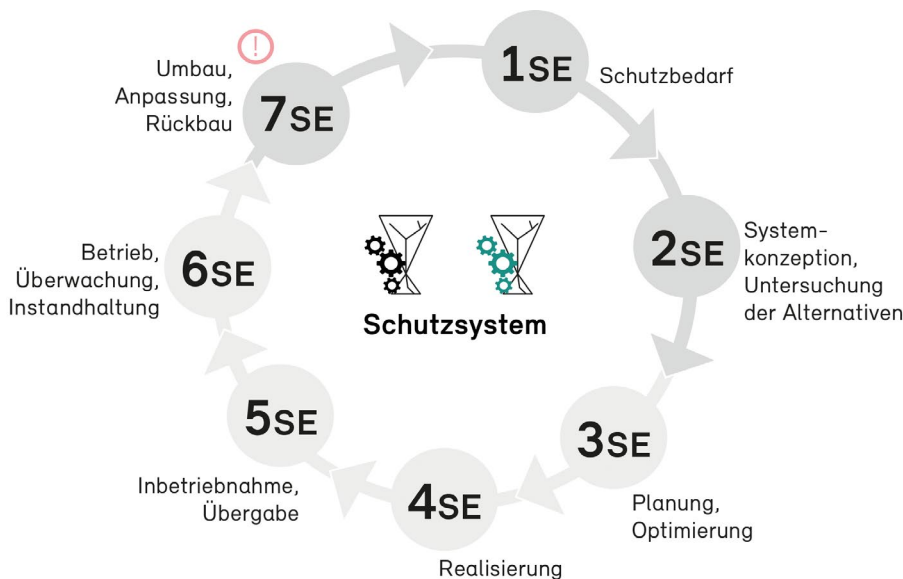


Abbildung 4: Lebenszyklusmodell des Systems Engineering nach PLANALP (2014), angepasst.

Im Rahmen des Schutzbautenmanagements wird in der Phase «Planen» analysiert, wie zukünftig mit diesen Schutzbauten umgegangen werden soll.

Bei der Phase «Erfassen» ist der Schutzbautenkataster (BAFU, 2020) das massgebende Instrument. Die Phase «Bewerten» kann mit der Vorgehensweise nach PROTECT (PLANAT, 2008) durchgeführt werden. Mit der neuen Publikation steht nun auch in der Phase «Planen» ein Instrument als Hilfestellung zur Verfügung, um das bestehende Schutzsystem zu überprüfen.

Die neue Publikation kann auch mit dem Lebenszyklusmodell von Schutzbauten in Zusammenhang gebracht werden (Abb. 3) (Suda, 2012). Nachdem eine Schutzbaute errichtet wurde, hat sie eine Schutzwirkung mit einem Wirkungsgrad, der mit zunehmender Lebensdauer abnimmt. Durch regelmässigen Unterhalt kann die Wirkung von Schutzbauten verlängert werden. Wenn nun der kritische Zustand von mehreren Schutzbauten im System erreicht ist, bei ausserordentlichen Schäden oder begründeten Zweifeln an der Zuverlässigkeit, wird die konzeptionelle Überprüfung ausgelöst (Symbol rotes Ausrufezeichen in Abb. 3). Dabei wird nicht das einzelne Bauwerk, sondern das gesamte Schutzsystem überprüft.

Gemäss dem Ansatz des Systems Engineering (PLANALP, 2014) (Abb. 4) durchläuft jedes Schutzsystem einen Lebenszyklus, der beginnend bei der Identifizierung des Schutzbedarfs über die Konzeption, Planung, Realisierung und den Betrieb bis zum Überprüfen des Schutzsystems an seinem Lebensende reicht. Der Lebenszyklus läuft wiederholt ab. Die Frage nach dem Umgang mit dem alternen, d. h. dem bisherigen Schutzsystem stellt sich am Ende des Lebenszyklus (Phase 7SE) und ist auf Konzeptstufe beantwortet, sobald die Konzeption des künftigen Schutzsystems abgeschlossen ist (Phase 2SE).

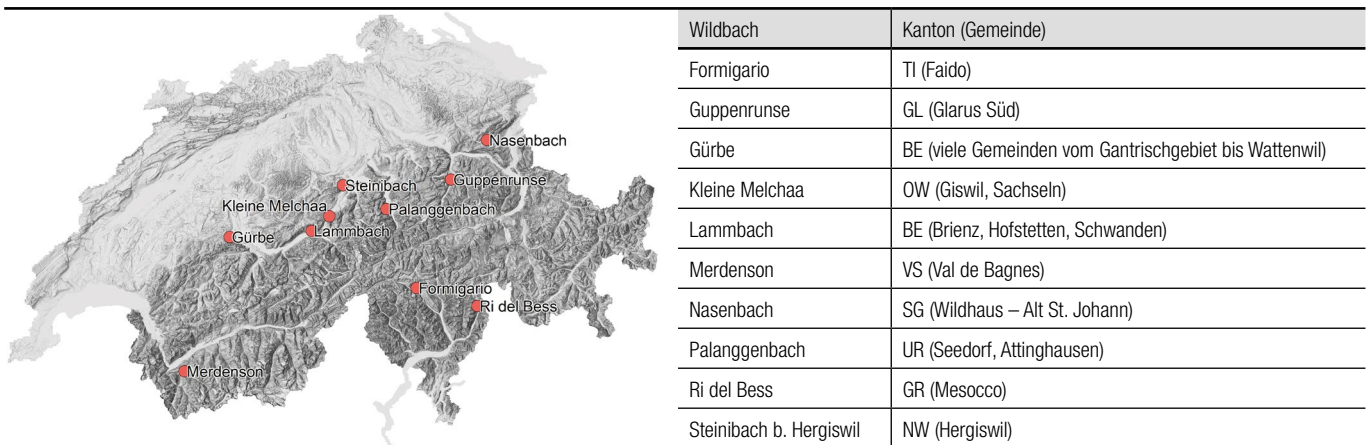


Abbildung 5: Ausgewählte Fallbeispiele von alternden Schutzsystemen (Datengrundlage © swisstopo).

Projektorganisation & Methodik

Nach der Erarbeitung einer Projektskizze im Jahr 2019 durch die NDR Consulting GmbH wurde vom BAFU der Auftrag für die Erarbeitung der Publikation im Frühling 2020 nach einem Einladungsverfahren an die geo7 AG und die HOLINGER AG vergeben, sowie ein Begleitmandat an die NDR Consulting GmbH. Eine Begleitgruppe mit 16 Personen bestehend aus Vertreterinnen und Vertretern der Verwaltung (Bund und Kantone) sowie von privaten Fachbüros wurde einberufen. Ihre Aufgabe war es, die Bedürfnisse der Praxis zu umschreiben, geeignete Fallbeispiele für die Analyse zu benennen und die Entwicklung der Publikation an zwei Workshops zu begleiten.

Die Datengrundlage für die Publikation besteht einerseits aus explizitem Wissen in Form von schriftlichen Dokumenten, Plänen, Fotos, andererseits aus implizitem Wissen, das durch mündlichen Erfahrungsaustausch mit Fachpersonen aus der Verwaltung und aus der Privatwirtschaft sowie mit lokalen Akteuren erschlossen wurde. Konkret wurde zuerst die bestehende Literatur zum Thema aus dem In- und Ausland analysiert. Zusätzlich wurden zehn Fallbeispiele ausgewählt (Abb. 5) und untersucht. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass in jedem Falleispiel eine bewusste Systemüberprüfung stattgefunden hatte

und der Entscheidung für das neue System abgeschlossen und gut dokumentiert war. Es wurde auch auf möglichst heterogene Bedingungen betreffend Prozess und betroffenen Typen an Schutzbauten geachtet. Zu jedem Fallbeispiel wurden alle schriftlichen Dokumente, z.B. Variantendiskussion und -entscheide ausgewertet und ein Erfahrungsaustausch mit den massgebenden Akteuren durchgeführt. Ergänzend fanden zwei Workshops mit den Fachpersonen aus der Begleitgruppe statt, bei welchen zu ausgewählten Themenbereichen weitere wertvolle Erfahrungen zum Umgang mit alternden Schutzsystemen gesammelt werden konnten.

Konzept zur Überprüfung des alternden Schutzsystems

«Wer bist du? Woher kommst du? Wohin gehst du?» Auf diesen drei Fragen, die der Schweizer Forstwirtschaftler Hans Leibundgut ursprünglich für Eingriffe in den Wald und für die Forstwirtschaft formulierte, baut auch das Konzept zum Umgang mit alternden Schutzsystemen auf. Bevor gestaltend eingegriffen wird, sollen Geschichte und Gegenwart bekannt sein sowie die mögliche und gewünschte Zukunft skizziert werden. Die Fragen unterstützen beim Vergleich zwischen der aktuellen Zweckmässigkeit des Schutzsystems (oder des Waldbestandes) und dem Zielzustand.

Anschliessend kann steuernd eingegriffen werden.

Auf der Basis dieses Grundsatzes wurde für den Umgang mit alternden Schutzsystemen ein Konzept erarbeitet. Es führt als roter Faden durch die Publikation und unterstützt Fachpersonen beim Übergang von einem Lebenszyklus in den nächsten, vom bisherigen Schutzsystem bis zur Konzeption des künftigen Schutzsystems (Abb. 6).

Vier Abklärungsschritte führen strukturiert durch den ergebnisoffenen Planungs- und Entscheidungsprozess, wie das bisherige Schutzsystem in die Zukunft überführt werden soll. Die relevanten Themen werden angesprochen und es wird dazu inspiriert, über eine mögliche Veränderung oder Anpassung bestehender Schutzsysteme nachzudenken. Diese Abklärungen finden primär in den SIA-Phasen 1 (Strategische Planung) und 2 (Vorstudien) statt (SIA 102, 2020). Die Analysen der zehn untersuchten Fallbeispiele unterstützen das vorgeschlagene Konzept. Die Abklärungen wurden in allen untersuchten Fallbeispielen bewusst oder unbewusst umgesetzt. Jeder Abklärungsschritt wird in der Publikation inhaltlich vertieft und an verschiedenen konkreten Erfahrungen aus den Fallbeispielen veranschaulicht. Die vier Abklärungsschritte können wie folgt beschrieben werden:

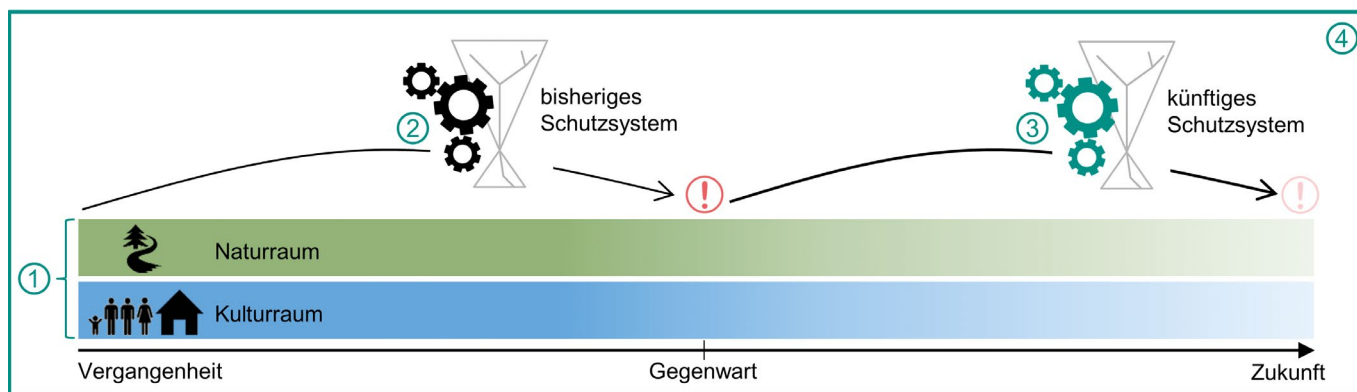


Abbildung 6: Konzept zum Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen anhand von vier Abklärungsschritten. Das Symbol des Ausrufezeichens symbolisiert den Zeitpunkt des Überprüfens.

Abklärungsschritt 1: Kenntnis der einstigen, heutigen und künftigen Rahmenbedingungen aus Natur- und Kulturraum

Die Kenntnis und das Verständnis der einstigen, heutigen und künftigen Rahmenbedingungen aus dem Naturraum (physische Gegebenheiten wie z.B. Topografie, Vegetation, Geologie, Hydrologie, Geomorphologie, Klima) und dem Kulturraum (Nutzung und Inwertsetzung des Naturraums durch den Menschen, z.B. Siedlungen, Infrastruktur) sowie der aktuellen und künftigen Handlungsspielräume (z.B. Gesetze, Politik) bilden im Konzept die Basis, um einen geeigneten Umgang mit alternden Schutzsystemen zu finden. Die verblassende Farbe in Abb. 6 symbolisiert die zunehmende Prognoseunsicherheit der Zukunft.

Abklärungsschritt 2: Verständnis für das bisherige Schutzsystem inklusive Auslösung seines Überprüfens

Das Verständnis für das bisherige Schutzsystem, also die Kenntnis der ursprünglich geplanten Funktion und des ursprünglichen Zwecks ist Grundvoraussetzung für die Planung der Zukunft. Durch einen Vergleich dieser früheren Absichten mit dem heutigen Zustand und der aktuellen Wirkung können wichtige Schlüsse gezogen werden. Auch der Auslöser, der zur Überprüfung des Schutzsystems geführt hat (z.B. bestehendes Schutzdefizit, Zerstörung von Schutzbauten, über-

mässige Unterhaltskosten, Schutzbauten am Lebensende etc.) sagt in vielen Fällen schon Einiges über das bisherige Schutzsystem aus und gibt Hinweise darauf, was für die Zukunft wichtig sein könnte. Die emotionale Bedeutung des Schutzsystems für die Bevölkerung zu kennen, bildet eine zusätzliche wichtige Grundlage insbesondere für die Kommunikation und Partizipation bei der Planung des zukünftigen Schutzsystems.

Abklärungsschritt 3: Erarbeitung eines Schutzkonzepts für ein zweckmässiges und nachhaltiges künftiges Schutzsystem

Die Konzeption eines durch alle Beteiligten getragenen, zweckmässigen künftigen Schutzsystems kann nur mit Berücksichtigung der Rahmenbedingungen (Abklärungsschritt 1) und dem Verständnis für das bisherige Schutzsystem (Abklärungsschritt 2) erfolgen. Für jedes alternde Schutzsystem soll im Variantenstudium bewusst geprüft werden, ob in Bezug auf die baulichen Massnahmen ein Erhalt, eine Anpassung oder ein Wechsel des bisherigen Systems zweckmässig ist und welche Massnahmenkombination das Schutzsystem optimiert (Abb. 7).

In der Publikation wurden für die Funktion der baulichen Massnahmen die drei Möglichkeiten Systemerhalt, Systemanpassung und Systemwechsel definiert. Die Grenze zwischen den verschiedenen Möglichkeiten ist

fließend. Die Einteilung erfolgt durch einen Vergleich der baulichen Funktionstypen (Stabilisieren, Zurückhalten, Durchleiten und Umleiten) der Schutzmassnahmen im bisherigen und künftigen Schutzsystem:

Systemerhalt: Unter einem funktionalen Systemerhalt wird das Beibehalten der bewährten Funktionsweise des bisherigen Schutzsystems verstanden. *Beispiel:* Die Sperrtreppe im Einzugsgebiet eines Wildbachs wird saniert (Erhalt der Funktion Stabilisieren). (Achtung: Die Beschreibung bezieht sich ausschliesslich auf den Funktionstyp der Bauten. Es ist auf jeden Fall zu prüfen, ob die Funktion durch naturnahe Massnahmen erreicht werden kann – z. B. Durchleiten in Raubettgerinne anstelle einer harten Bachschale.)

Systemanpassung: Funktionale Systemanpassung beschreibt eine teilweise Veränderung von Funktionstyp und/oder geographischer Lage der Schutzbauten. *Beispiel:* Von der Sperrtreppe im Einzugsgebiet eines Wildbachs werden nur die Schlüsselbauwerke erhalten. Ergänzt wird das System durch einen Geschiebesammler (Anpassung der Funktion Stabilisieren und Ergänzen mit Funktion Zurückhalten).

Systemwechsel: Bei einem funktionalen Systemwechsel unterscheiden sich Funktionstypen und/oder die geographische Lage der Schutzbauten im bisherigen und im künftigen Schutzsystem. *Beispiel:* Die Sperrtreppe im

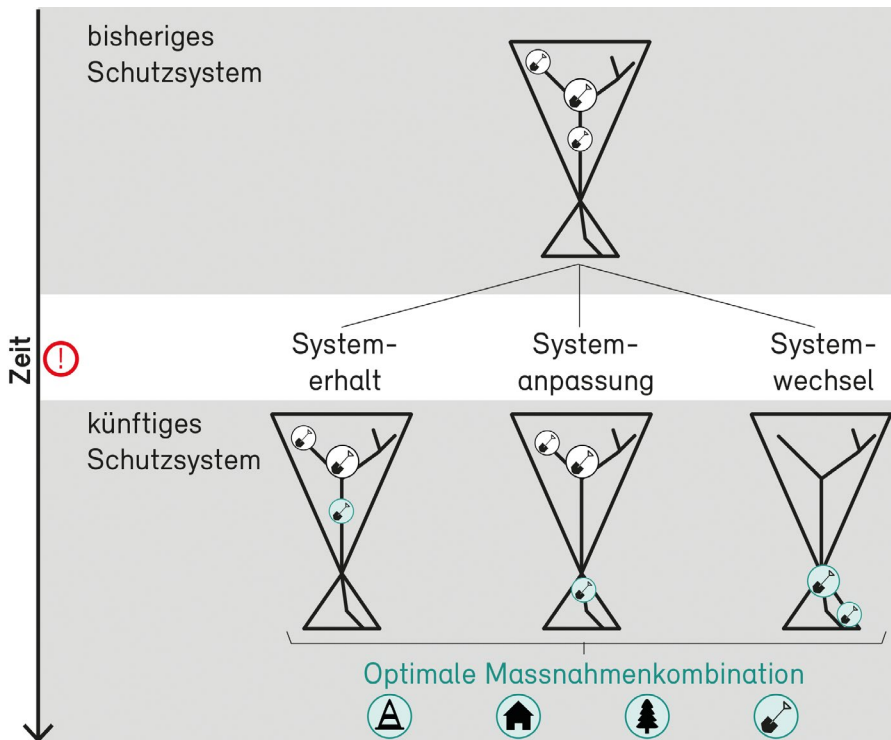


Abbildung 7: Variantenstudium auf Konzeptstufe mit der bewussten Berücksichtigung der Varianten Systemerhalt, Systemanpassung und Systemwechsel bei den baulichen Massnahmen sowie der optimalen Massnahmenkombination.

Einzugsgebiet eines Wildbachs wird vollständig aufgelassen. Am Kegelhals wird ein neuer Geschiebesammler errichtet (Wechsel von der Funktion Stabilisieren auf Zurückhalten).

Abklärungsschritt 4: Berücksichtigung von übergreifenden Aspekten

Zentrale Erfolgsfaktoren für ein Projekt sind gemäss den Erfahrungen aus den zehn Fallbeispielen das Vorhandensein korrekter, nachvollziehbarer Projektgrundlagen, das Verständnis für den allgemeinen Wandel beim Umgang mit Naturgefahren und eine erfolgreiche Kommunikation. Dies ist nicht nur der Fall beim Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen, sondern es sind allgemein gültige Erfolgsfaktoren. Insbesondere bei einem Systemwechsel zeigte sich in den Fallbeispielen, dass sich eine sorgfältige Organisation und frühzeitige Kommunikation auszahlt, da sie sonst zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden müssen.

Erfahrungen und Empfehlungen für die Umsetzung

Für die Anwendung des Konzepts in der Praxis enthält die Publikation zahlreiche Empfehlungen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad. Zur Illustration des Konzepts zum Umgang mit alternden Schutzsystemen sind zahlreiche konkrete Hinweise auf Erfahrungen aus den Fallbeispielen dokumentiert. Weitere detaillierte Informationen können zudem den Faktenblättern zu den zehn Fallbeispielen im Anhang entnommen werden.

In der Synthese der Publikation werden für jeden Abklärungsschritt und jedes Unterthema die zentralen Fragen aufgelistet, die es zu beantworten gilt (Tab. 1).

In einem weiteren Kapitel finden Planende und Verantwortliche, welche sich im Detail mit der Überprüfung eines Schutzkonzepts beschäftigen, zusätzliche und vertiefte Handlungsempfehlungen, welche sie bei der Lösungsfindung konkret unterstützen.

Anwendbarkeit für Schutzsysteme anderer Prozesse

Die hier vorgestellte Publikation des BAFU wurde bewusst auf Wildbäche beschränkt. Der Grund lag darin, dass sich die Problematik aktuell vor allem bei diesen Gefahrenquellen zeigt. Es stellt sich natürlich die Frage, ob das strukturierte Konzept auch beim Umgang mit alternden Schutzsystemen z.B. in Talflüssen, in Lawenzügen, Sturz- oder Rutschgebieten angewendet werden kann. Die Autorinnen und Autoren sind der Meinung, dass dies vom Grundsatz her möglich ist:

Um den Übergang von Schutzsystemen in eine neue Generation zu überprüfen, ist es bei jedem Gefahrenprozess sinnvoll, sich die Fragen «Wer bist du? Woher kommst du? Wohin gehst du?» zu stellen.

Bei jeder Überprüfung von Schutzsystemen unabhängig vom Gefahrenprozess ist es wichtig, das Gesamtsystem und nicht nur Einzelbauwerke zu betrachten. Allenfalls könnte die Systemabgrenzung z.B. bei der Anwendung bei einem Schutzsystem an einem Talfluss eher schwieriger sein als bei Wildbächen, Lawenzügen, Sturz- und Rutschgebieten.

Zudem ist es immer sinnvoll, bei der Variantenstudie für bauliche Massnahmen bewusst die verschiedenen Möglichkeiten (Systemerhalt, Systemanpassung, Systemwechsel) gedanklich durchzuspielen und als Varianten in die Bewertung mitzunehmen. Die baulichen Funktionstypen der bestehenden Massnahmen sind allenfalls nicht bei allen Gefahrenprozessen so vielfältig wie bei den Wildbächen und Wassergefahren, weshalb vielleicht nicht immer alle Möglichkeiten (Systemerhalt, Systemanpassung oder v.a. Systemwechsel) gegeben sind. Es gibt auch Gefahrenprozesse, bei welchen von Anfang an ganz bewusst geplant ist, dass es nach der ersten Generation Schutzsystem einen Systemwechsel geben soll, so z.B. im temporären

Tabelle 1: Struktur zur Analyse eines Schutzsystems: Konzept, Abklärungsschritt, Thema und zentrale Frage.

Konzept	Schritt	Thema	Zentrale Fragen (Auswahl)
	①	Rahmenbedingungen	
	1.1	Entwicklung des Naturraums	– Welche Voraussetzungen und Bedürfnisse bestehen im Natur- und Kulturraum zum aktuellen Zeitpunkt des Überprüfens?
	1.2	Entwicklung des Kulturraums	– Welche Veränderung im Natur- und Kulturraum haben seit der Errichtung des Schutzsystems bis zum Zeitpunkt des Überprüfens stattgefunden? – Was sind mögliche Szenarien für die künftige Entwicklung im Natur- und Kulturraum?
	②	Verständnis für das bisherige Schutzsystem	
	2.1	Kenntnis und Verständnis bisheriger Massnahmen	– Was war das ursprüngliche Schutzkonzept und welche Schutzziele wurden angestrebt? – Wie hat sich das bisherige Schutzsystem seit seiner Errichtung bis zum Zeitpunkt des Überprüfens entwickelt und bewährt? – Welche Schutzmassnahmen bestehen in welchem Zustand, mit welcher Funktion, Zuverlässigkeit und Wirkung, mit welchem Nutzen und mit welcher emotionalen Bedeutung für wen?
	2.2	Beurteilung der Zweckmässigkeit	– Erfüllt das bestehende Schutzsystem die aktuellen Ansprüche?
	2.3	Auslösung des Überprüfens	– Was hat ein Überprüfen ausgelöst?
	③	Erarbeitung künftiges Schutzsystem	
	3.1	Zielformulierung und Zielvergleich	– Was sind die Ansprüche an das künftige Schutzsystem? – Worin unterscheiden sich die künftigen Ansprüche und das bestehende System?
	3.2	Variantenstudium und Variantenentscheid	– Ist ein Systemerhalt, eine Systemanpassung oder ein Systemwechsel möglich und sinnvoll? – Welche Varianten sind denkbar, sollen weiterverfolgt und optimiert werden?
	3.3	Überführung des bisherigen Schutzsystems in ein zweckmässiges künftiges Schutzsystem	– Welche Variante ist im Hinblick auf ihren gesamten Lebenszyklus zu bevorzugen? – Was sind mögliche Hürden auf dem Weg vom bisherigen zum künftigen Schutzsystem und wie können sie gemeistert werden? – Wie kann das Erhaltungsmanagement langfristig sichergestellt werden? – Was sind die weiteren Planungsschritte?
	④	Übergreifende Aspekte	
	4.1	Projektgrundlagen	– Welche Entscheidungsgrundlagen werden benötigt?
	4.2	Kommunikation	– Wie können Vertrauen und Akzeptanz geschaffen werden?
	4.3	Umgang mit Naturgefahren	– Wie wird der integrale und nachhaltige Umgang mit Naturgefahren gewährleistet?

Stützverbau beim Gefahrenprozess Lawinen, wo die Schutzwirkung dann von den baulichen zu den biologischen Massnahmen übergeht.

Fazit und Ausblick

Die Frage nach einem geeigneten Umgang mit alternden Schutzsystemen ist hochaktuell und stellt sich im gesamten Alpen- und Vor-alpenraum. Der ergebnisoffene Lösungsansatz des BAFU strukturiert das Vorgehen und unterstützt Fachleute, den Übergang eines Schutzsystems in den nächsten Lebenszyklus optimal zu gestalten. Mit Hilfe von grundsätzlichen Überlegungen wird geprüft, ob das bisherige Schutzsystem noch zeitgemäss ist oder aufgrund von Veränderungen allenfalls eine Systemanpassung oder ein Systemwechsel zweckmässig und möglich ist.

Rückmeldungen zur Publikation im Allgemeinen, zur Anwendung bei Wildbächen, aber auch bei anderen Gefahrenprozessen sind jederzeit willkommen!

Dank

Das Bundesamt für Umwelt BAFU dankt allen Auftragnehmenden herzlich (geo7 AG: Catherine Berger, Maïke Schneider; Holinger AG: Sandro Ritler; NDR Consulting: Markus Zimmermann) für die sehr gute Erarbeitung

der Publikation und die angenehme Zusammenarbeit. Das gesamte Projektteam dankt allen Mitgliedern der Begleitgruppe sowie den kantonalen Projektleitenden, planenden Ingenieurinnen und Ingenieuren und lokalen Verantwortlichen, welche anlässlich der zehn Fallbeispiele ihre wertvollen Erfahrungen geteilt und für diese Publikation zur Verfügung gestellt haben.

Literatur

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2018: Konzept Management von Schutzbauten gegen gravitative Naturgefahren in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2020: Datenmodell Schutzbauten Naturgefahren. Identifikator 81.2, Version 1.0. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.), 2022: Umgang mit alternden Schutzsystemen in Wildbächen. Erfahrungen und Empfehlungen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2210: 74 S.

Download Deutsch: www.bafu.admin.ch/uw-2210-d

Download Französisch: www.bafu.admin.ch/uw-2210-f

Download Italienisch: www.bafu.admin.ch/uw-2210-i (ab Dez. 2022)

PLANALP Plattform Naturgefahren der Alpenkonvention, 2014: Beständigkeit von Schutzsystemen gegen Alpine Naturgefahren. Erfüllung vielseitiger Ansprüche durch die Anwendung der Prinzipien des Systems Engineering und des Lebenszyklusmanagements in den Ländern der Alpenkonvention. PLANALP Broschüre 2014.

PLANAT, 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen. PROTECT. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern. (aktuell in Überarbeitung)

Salvisberg M., 2017: Der Hochwasserschutz an der Gürbe. Eine Herausforderung für Generationen (1855–2010). Wirtschafts-, Sozial- und Umweltgeschichte (WSU), Band 7. Schwabe Verlag, Basel.

SIA 102, 2020: Ordnung für Leistungen und Honorare der Architektinnen und Architekten. Planungsphasen. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Suda J., 2012: Instandhaltung von Schutzbauwerken gegen alpine Naturgefahren. Publikation der Universität für Bodenkultur, Wien.



Alterndes Schwemmholzrückhaltesystem aus verschweissten H-Profilen im Gruonbach (UR), 2014. Foto: Martin Frei.

Beurteilung der Gefahr und des Risikos von Hochwassern im Emmental

Neue digitale Werkzeuge der Forschungsinitiative Hochwasserrisiko weisen den Weg

Rouven Sturny¹ (rouven.sturny@mobi.ch)
Rolf Weingartner¹ (rolf.weingartner@giub.unibe.ch)

¹ Mobilar Lab für Naturrisiken, Universität Bern

Résumé

Dans le cadre de la protection contre les crues, la rapide extension des surfaces bâties nécessite de prendre en considération, outre le danger d'inondation, les dommages potentiels qui y sont liés. En prenant comme exemple l'Emmental, l'article ci-après évoque la façon dont deux outils numériques développés par le Laboratoire Mobilier de recherche sur les risques naturels de l'Université de Berne facilitent, dans la pratique, l'évaluation des risques. Ainsi le «Simulateur de dommages» met l'accent sur les communes de Suisse et quantifie entre autres l'importance des mesures de protection des objets pour la réduction du risque. Le nouvel outil «Dynamique de crues», quant à lui, se concentre sur les risques résiduels. Une visualisation dynamique spatiotemporelle permet de représenter l'exposition aux événements extrêmes, de l'échelon local à l'échelon suprarégional. De précieuses informations peuvent ainsi être fournies notamment à la protection de la population.

Zusammenfassung

Im Hochwasserschutz sind angesichts der rasanten Ausdehnung der bebauten Flächen neben der Hochwassergefahr unbedingt auch die potenziell entstehenden Schäden, also das Risiko, zu berücksichtigen. Am Beispiel des Emmentals wird diskutiert, wie zwei digitale Werkzeuge des Mobilar Labs für Naturrisiken der Universität Bern die Praxis bei der Risikobeurteilung unterstützen. Der «Schadensimulator» fokussiert dabei auf die Gemeinden

der Schweiz und quantifiziert zum Beispiel die Bedeutung von Objektschutzmassnahmen zur Risikoverminderung. Beim neuen Tool «Hochwasserdynamik» steht das Restrisiko im Vordergrund. Mit einer in Raum und Zeit dynamischen Visualisierung wird die Betroffenheit durch extreme Ereignisse von der lokalen bis zur überregionalen Ebene aufgezeigt. Besonders der Bevölkerungsschutz kann daraus relevante Informationen gewinnen.

Gefährliches Hochwasser im Kemmeribodenbad

Man ist an die «Wassernot im Emmental» erinnert. Jeremias Gotthelf schildert darin den Ablauf des katastrophalen Hochwassers vom 13. August 1837, das durch ausserordentlich hohe Niederschläge an der Honegg im Einzugsgebiet des Röthenbachs ausgelöst wurde. Am 4. Juli 2022 geschah Ähnliches im Oberlauf der Emme. Während einer halben Stunde traten intensive und sehr lokale Starkniederschläge auf, die auf sehr trockene, also hydrophobe Böden fielen. Die Stundensumme betrug zwischen 50 und 60 mm (vgl. Meteo-Schweiz, CombiPrecip). Diese Niederschläge führten im Bereich des Gasthofs Kemmeribodenbad zu einem extremen Hochwasserdurchfluss. Aussergewöhnlich waren sowohl die sehr kurze Scheitelanstiegszeit wie auch die Abflussspitze von rund 200 m³/s. Die Medien berichteten, dass für die Evakuierung des Gasthofs nur gerade 4 Minuten zur Verfügung standen. Die Folgen sind für den Restaurationsbetrieb verheerend. Er kann frühestens im März 2023 wieder eröffnet werden.

Der Gasthof, in dessen Umgebung in den letzten Jahren verschiedene Hochwasserschutzmassnahmen ausgeführt wurden, liegt in der gelben Hochwasser-Gefahrenzone. Dies und die Tatsache, dass der vor rund 200 Jahren gebaute Gasthof nie derart schwer betroffen war, weisen auf ein sehr extremes Hochwasser vom 4. Juli hin. Einen ähnlichen Schluss kann man aus Abbildung 1 ziehen. Das Hochwasser vom 4. Juli liegt bezüglich der Abflussspitze weit oberhalb eines 100-jährlichen Hochwassers (HQ₁₀₀).

Von der Gefahren- zur Risikobeurteilung

Welche Erkenntnisse lassen sich aus diesem Fall ableiten? Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte, die durch eine rasante Ausdehnung der Siedlungsgebiete und Infrastrukturflächen gekennzeichnet sind, lehren uns, dass es im Hochwasserschutz nicht mehr genügt, nur alleine die Gefahr (H) zu beurteilen, sondern es müssen immer auch die möglichen Schäden einbezogen werden, die aufgrund grosser und extremer Hochwasser entstehen können. Gefordert ist also eine integrale Risikobeurteilung, wobei das Risiko (R) wie folgt definiert ist:

$$R = H \cdot E \cdot V$$

R: Risiko

H: Gefahr

E: exponierte Sachwerte, zum Beispiel hochwassergefährdete Gebäude

V: Vulnerabilität

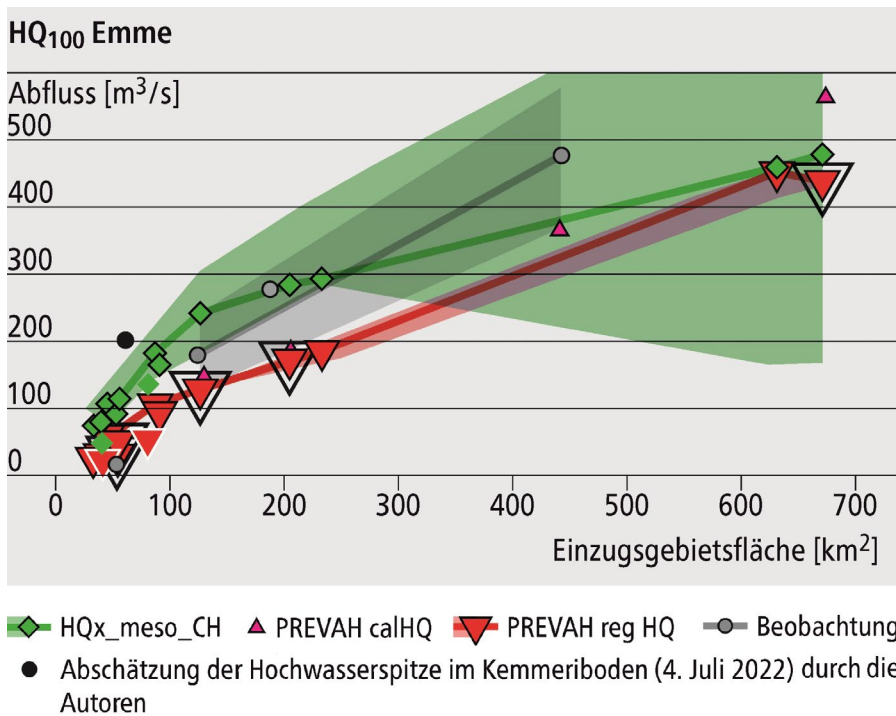


Abbildung 1: Einordnung des Hochwassers vom 4. Juli 2022 im Kemmeribodenbad (aus: Viviroli und Weingartner, 2012, verändert). Dargestellt sind die regionalen Kurven mit ihrem Unsicherheitsbereich für ein 100-jährliches Hochwasser im Emmental, basierend auf verschiedenen Modellen oder Abschätzverfahren.

Vor diesem Hintergrund hat die Forschungsinitiative Hochwasserrisiko am Mobiliar Lab für Naturrisiken der Universität Bern deshalb in den letzten Jahren die traditionelle Hochwassergefahrenforschung um den Aspekt des Risikos gezielt ergänzt. Damit die Forschungsergebnisse in der Praxis effektiv einen Mehrwert erzeugen, entwickelte das Lab im Austausch mit Partnern aus der Praxis intuitiv bedienbare Werkzeuge, welche auf hochwasserrisiko.ch öffentlich zugänglich sind. Je nach Tool finden Fachleute, Behörden, aber auch die Bevölkerung darin Unterstützung, Hochwasserrisiken differenziert zu erkennen, zu vergleichen und zu beurteilen. Die damit neu eröffnete Dimension zur Beurteilung des Hochwasserrisikos veranschaulichen die folgenden beiden Beispiele.

Mit dem «Schadensimulator» den Objektschutz bewerten

Im Kemmeriboden steht einer grossen Gefahr ein vergleichsweise geringes Risiko gegenüber, das von wenigen Gebäuden und deren

Vulnerabilität geprägt ist. Das Tool Schadensimulator (schadensimulator.ch) erlaubt uns, den Fall Kemmeriboden regional einzuordnen und den Blick auf die ganze Region zu öffnen. In der Gemeinde Schangnau, in der sich das Kemmeribodenbad befindet, betragen die bei einem grossen Hochwasser potenziell zu erwartenden Schäden rund CHF 1.5 Mio. Im Gegensatz dazu belaufen sich diese Schäden in Burgdorf auf rund CHF 35 Mio. Wie der Schadensimulator verdeutlicht, handelt es sich dabei um den eigentlichen Hochwasserrisiko-«Hotspot» des Emmentals. Die ausgewiesenen Schadenwerte beziehen sich auf die Gebäude im Perimeter der Hochwassergefahrenkarten. Die Vulnerabilitäten dieser Gebäude in den einzelnen Gefahrenzonen wurden mit statistischen Analysen von 15'000 Gebäudeschäden in der Schweiz hergeleitet.

Der Schadensimulator liefert auch Erkenntnisse für ein vorausschauendes Risikomanagement. So kann etwa untersucht werden, welche Auswirkungen eine Erhöhung des

Anteils der Gebäude mit Objektschutzmassnahmen auf das Risiko hat. Aktuell sind solche Objektschutzmassnahmen nur für Neubauten in der blauen Gefahrenzone verbindlich. Deshalb erstaunt es wenig, dass gemäss dem Schadensimulator im schweizerischen Mittel nur gerade 11 % der Gebäude in der blauen Zone und 2 % in der gelben Zone direkt geschützt sind. Das Tool visualisiert und quantifiziert die grosse Bedeutung von zusätzlichen Objektschutzmassnahmen an bestehenden Gebäuden. Dies soll am Beispiel von Burgdorf gezeigt werden (s. Abb. 2): Nehmen wir an, dass in der blauen und gelben Zone je 50 % der Gebäude geschützt sind. In der blauen Zone würden sich die potenziellen Schäden von aktuell 14 auf CHF 11 Mio. (-21 %) und in der gelben Zone von 20 auf CHF 15 Mio. (-25 %) reduzieren. Insgesamt könnten die potenziellen Schäden von 35 auf CHF 27 Mio. (-23 %) gesenkt werden. Diese Zahlen belegen den Wert von Objektschutzmassnahmen, besonders auch in der gelben Zone, wo solche Massnahmen aufgrund der zu erwartenden kleinen Wassertiefen mit relativ geringem Aufwand umgesetzt werden können. Sie gelten sinngemäss für die ganze Schweiz und helfen Naturgefahrenfachleuten, Architektinnen und Behörden, die Wichtigkeit von Objektschutzmassnahmen bei bestehenden Bauten und insbesondere auch in der gelben Zone zu erkennen und solche zu fordern und fördern.

Mit der «Hochwasserdynamik» dem Restrisiko auf der Spur

Das Kemmeriboden-Beispiel zeigt, wie gefährlich Hochwasser bereits auf der lokalen Ebene sein können. Was aber, wenn solch extreme Hochwasser in mehreren Regionen oder Kantonen auftreten oder sogar grössere Teile der Schweiz betreffen? Die Hochwasser in den Jahren 2005, 2007 und 2021 besaßen genau eine solche überregionale Dimension und führten zu entsprechenden Schäden.

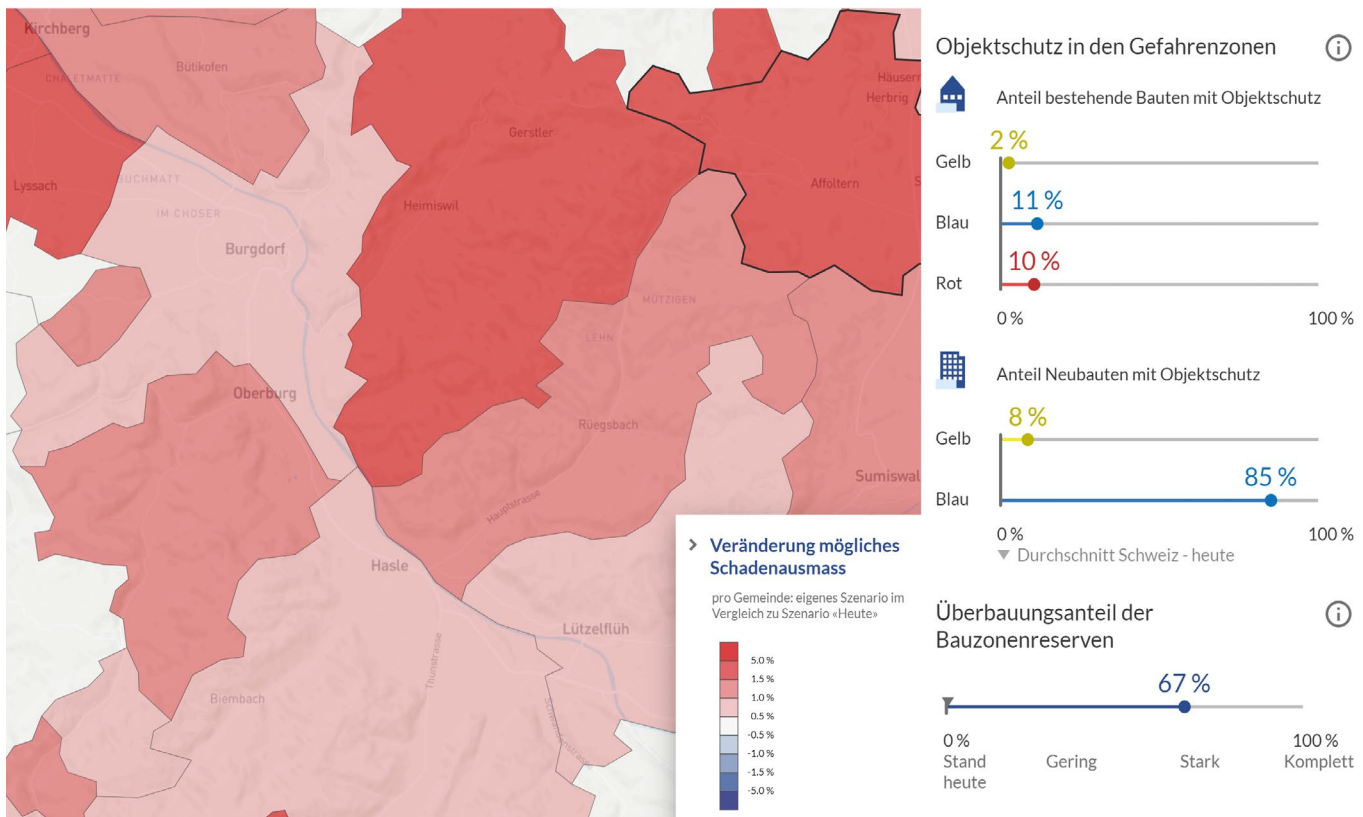


Abbildung 2: Einblick in den Schadensimulator, mit dem sich der Einfluss von Objektschutzmassnahmen auf das mögliche Schadenausmass von grossen Überschwemmungen abschätzen lässt (Screenshots von schadensimulator.ch).

Doch was bedeutet es, wenn überregionale Ereignisse ein noch extremeres Ausmass annehmen? Genau von dieser Fragestellung geht das neue Tool Hochwasserdynamik (hochwasserdynamik.ch) des Mobiliar Labs aus. Ausgangspunkt für die Simulationen sind neun Extremszenarien mit grossflächigen, mehrere Tage andauernden Niederschlägen, die dem Restrisiko Form und Inhalt geben. Diese wurden aus Daten von Wettervorhersagemodellen abgeleitet, sind also physikalisch möglich, aber glücklicherweise bisher noch nicht aufgetreten. Die Niederschläge fliessen in eine Modellkette ein, welche sich aus einem hydrologischen, einem hydraulischen und einem sozio-ökonomischen Teil zusammensetzt. Letzterer simuliert die lokalen Auswirkungen von extremen Hochwassern auf Personen, Gebäude und Infrastrukturen.

Das Tool visualisiert das Hochwasserereignis zeitlich und räumlich dynamisch und hochaufgelöst. So zeigt es die Betroffenheit

durch extreme Ereignisse sowohl auf der lokalen – und in der Summe aller lokalen Ergebnisse – auch auf der (über-)regionalen Ebene (vgl. Abb. 3). Es spricht den Bevölkerungsschutz an, also lokale Blaulichtorganisationen und ganz besonders auch regionale und (inter-)kantonale Führungsstäbe.

Betrachten wir nun die Auswirkungen eines der neun im Tool implementierten Extremszenarien, nämlich das «Worst Case-Szenario» mit einem dreitägigen, 1000-jährlichen Niederschlag, der sich über die ganze Alpennordseite erstreckt, für das Emmental: Aufgrund der vergleichsweise tiefen Niederschlagsintensität müssten im Gebiet Kemmeriboden zwar keine gefährlichen Ausuferungen erwartet werden, weiter Emme-abwärts nehmen die Auswirkungen hingegen stark zu: Im Unterlauf der Emme, also im Gewässerabschnitt zwischen Ramsei und dem Zusammenfluss der Emme mit der Aare, sind bei diesem Szenario 27'000 Personen und

7200 Gebäude betroffen, und es ist mit Gebäudeschäden von gegen CHF 1.7 Mrd. zu rechnen. Weiter wären 26 Schulen, 470 Alters- und Pflegeheimbetten betroffen sowie 290 km Strassen nicht oder nur beschränkt befahrbar. Damit der Verkehr nicht ganz zum Erliegen kommt, sind Umfahrungen und Umleitungen von insgesamt 410 km nötig. Wie das Tool zeigt, verschärft sich die Hochwassersituation nach 48 Stunden sprunghaft, was den Bevölkerungsschutz vor noch grössere Herausforderungen stellt. Dies ist bedingt durch die Gleichzeitigkeit der Verschärfung in einem Grossteil der betroffenen Gebiete. Die begrenzten personellen und materiellen Ressourcen für die Interventionen inkl. der nötigen Evakuierungen müssen in dieser Situation wohlüberlegt eingesetzt werden. Daher lohnt es sich für regionale und (inter-)kantonale Führungsstäbe, Blaulichtorganisationen und weitere Akteure, sich bereits im Voraus mit solchen gemeinhin als «undenkbar» geltenden

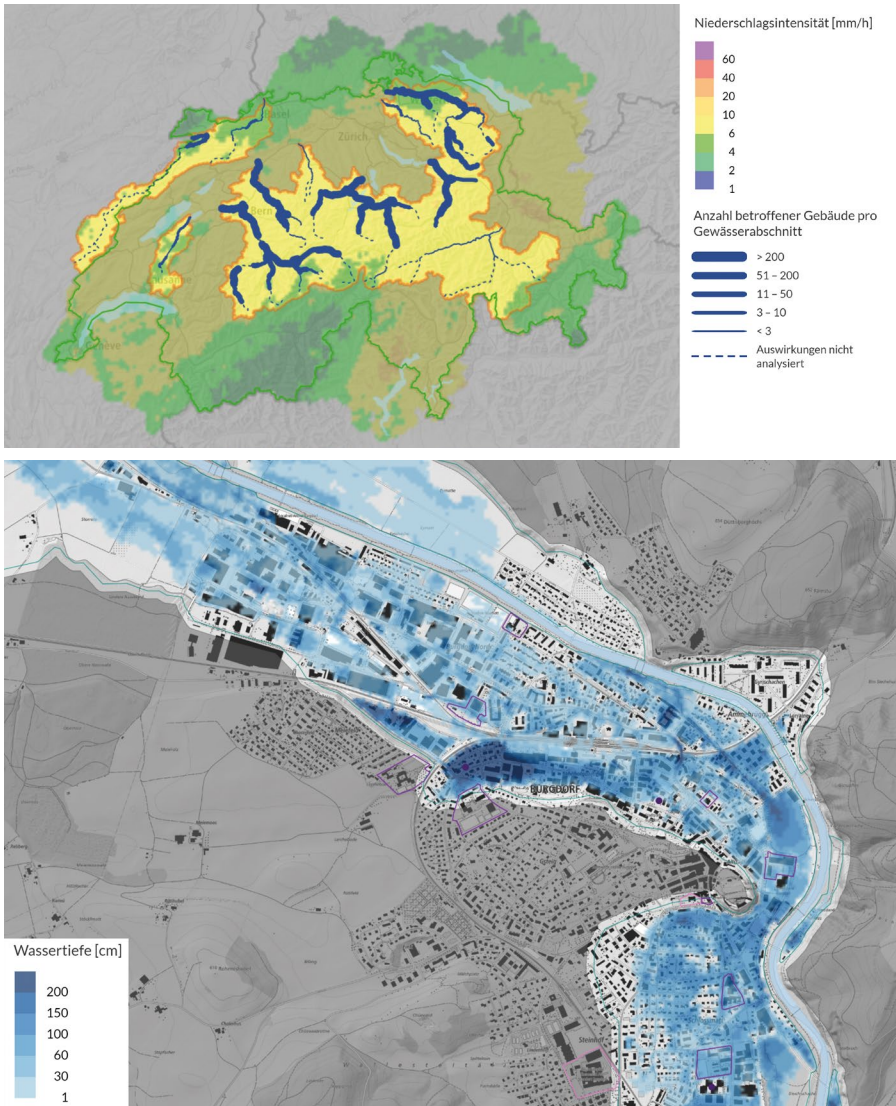


Abbildung 3: Die Auswirkungen des Worst Case-Szenarios werden im Tool Hochwasserdynamik sowohl für die überregionale wie auch für die lokale Ebene, hier im Fall von Burgdorf, dargestellt (Screenshots von hochwasserdynamik.ch).

Szenarien auseinanderzusetzen. Und anders als bislang, stehen mit dem Tool Hochwasserdynamik nun einfach zugängliche und realistische Grundlagen dafür zur Verfügung.

Fazit

Ausgehend vom Einzelereignis mit lokal schwerwiegenden Folgen haben wir gezeigt, wie wichtig eine integrale Risikosicht ist und wie die Werkzeuge der Forschungsinitiative Hochwasserrisiko des Mobiliar Labs für verschiedene Anwenderinnen und Anwender Unterstützung im Umgang mit Hochwasserrisiken bieten. Wie wir aus der Praxis wissen, können

die Werkzeuge etwa zur Sensibilisierung, in der strategischen Planung für die Grobpriorisierung von Schutzprojekten oder zwecks Vorbereitung von Bevölkerungsschutzübungen konkret zum Einsatz kommen.

Im Sinne des integralen Risikomanagements ist die Hochwasserbeurteilung als Gesamtkunstwerk zu verstehen, wozu heute umfangreiche Hilfsmittel in Form von Daten und Werkzeugen verfügbar sind. Und gleichzeitig spielen fundiertes Fachwissen und Erfahrung, gewissenhafte Feldbegehungen sowie detaillierte Modellierungen nach wie vor eine grosse Rolle, damit das Kunstwerk im Einzelfall gelingt.

Weitere Informationen

Mehr zur Forschungsinitiative Hochwasserrisiko und zur Anwendung der Werkzeuge in der Praxis gibt es unter hochwasserrisiko.ch. Der folgende QR-Code führt direkt zur Webseite:



Literatur

Vivoli, Daniel; Weingartner, Rolf (2012): Prozessbasierte Hochwasserabschätzung für mesoskalige Einzugsgebiete – Grundlagen und Interpretationshilfe zum Verfahren PREVAH-regHQ. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 39, Bern.

MeteoSchweiz (2017): Produkt «CombiPrecip», www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/en/climate/swiss-climate-in-detail/doc/ProdDoc_CPC.pdf

Rôle de la forêt protectrice et des ouvrages paravalanches sur les crues torrentielles de la Baye de Montreux

Bernard Biedermann¹ (biedermann@nivalp.ch)
 Olivier Dubas¹ (dubas@nivalp.ch)
 Philippe Heller² (philippe.heller@hydrique.ch)
 Olivier Le Doucen² (olivier.ledoucen@hydrique.ch)
 Sébastien Lévy³ (sebastien.levy@vd.ch)

¹ Nivalp SA, Grimsuat

² Hydrique Ingénieurs, Le Mont-sur-Lausanne

³ Direction générale de l'environnement, Canton de Vaud

Zusammenfassung

Am 2. August 1927 wurde die Stadt Montreux von einem verheerenden Hochwasser der Baye de Montreux getroffen, welches grosse Schäden an Häusern und Infrastruktur anrichtete. Um einer Wiederholung eines solchen Ereignisses vorzubeugen starteten die Behörden 1930 das Aufforstungsprojekt «Verraux-Jaman», welches Pflanzungen und Lawinenschutzbauten umfasste.

Gut 90 Jahre, nachdem das Projekt ins Leben gerufen wurde, wird nun Bilanz gezogen und die Wirksamkeit des Schutzkonzeptes beurteilt. Im Rahmen dieser Bilanz wird der aktuelle Zustand des aus Wald und Lawinenschutzbauten bestehenden Schutzsystems analysiert, die Wirksamkeit des Schutzwaldes nach der Methode PROTECT Bio beurteilt, und ein Aktionsplan für die Erhaltung und Verbesserung des Schutzkonzeptes vorgeschlagen.

Résumé

Le 2 août 1927, la ville de Montreux est touchée par une crue torrentielle de la Baye de Montreux, provoquant des dégâts importants aux habitations et aux infrastructures. Afin d'éviter qu'un tel événement se reproduise, les autorités de l'époque lancent en 1930 le projet de reboisement « Verraux-Jaman », composé de plantations et d'ouvrages de protection contre les avalanches.

Près de 90 ans après le début du projet, un bilan est effectué sur le concept de protection mis en place et son fonctionnement. Ce

bilan analyse l'état actuel du système forêt-ouvrages paravalanches, évalue l'efficacité de la forêt selon la méthode PROTECT Bio et propose un plan d'action pour le maintien, voire l'amélioration du concept de protection.

L'orage du siècle

Construite sur le cône de déjection de la Baye de Montreux à partir du milieu du 19^{ème} siècle, la ville de Montreux subit un premier événement en 1885, puis un second une dizaine d'années plus tard. En réponse à ces crues, la rivière est endiguée dans le centre-ville, et des pièges à sédiments sont construits plus en amont. Le 2 août 1927, un orage d'une intensité rare se déchaîne sur le bassin versant de la Baye, provoquant une crue exceptionnelle. Les témoignages de l'époque parlent d'un cumul de 135 mm de pluie, dont 60 mm en 15 minutes seulement, mobilisant entre 50'000 et 70'000 m³ de sédiments dans le cours d'eau. Cet apport subit de matériaux provoque des débordements et des dommages majeurs dans toute la ville (Figure 1), notamment la coupure des voies CFF de la ligne du Simplon et de la route cantonale, l'arrachement des quais, la destruction des ouvrages de correction fluviale construits par le passé, ainsi que de nombreux dégâts sur des bâtiments et habitations. Au total, le coût occasionné par cet événement se monte à environ CHF 1'300'000.- de l'époque, montant qui devrait certainement être multiplié par 100 si une telle catastrophe se reproduisait aujourd'hui.

Un contexte et un projet de protection complexes

Le caractère torrentiel de la Baye de Montreux et son importante capacité de charriage de matériaux peuvent en partie être expliqués par certaines caractéristiques de son bassin versant. Celui-ci est d'une surface totale de 14.48 km², s'étendant du Lac Léman (372 msm) aux sommets de la chaîne de montagnes des Verraux (1'941 msm) et de la Dent de Jaman (1'875 msm) et d'une déclivité importante, supérieure à 25° sur une grande majorité de sa surface (Figure 2). Géologiquement, le bassin versant se situe dans la Nappe des Préalpes médianes, avec une partie supérieure constituée de grandes parois rocheuses quasi-verticales (calcaires du Malm et du Dogger), très résistantes à l'érosion. Au pied de ces parois se trouvent des éboulis et des sols plus profonds, puis, au fil du cours d'eau en direction de son embouchure, des moraines glaciaires soumises à une érosion intense, et enfin des formations du Lias formant les Gorges du Chauderon.

Du point de vue climatique, la région est caractérisée par une pluviométrie importante (1'759 mm/an entre 1981 et 2010 pour la station des Avants 1'036 msm), résultant de la présence de la Chaîne des Verraux, premier obstacle orographique significatif pour les courants humides venant d'Ouest amenant de fait des accumulations conséquentes de neige en hiver et des avalanches significatives sur les versants sommitaux. Ces importantes sur-



Figure 1 : Photo historique de la crue torrentielle de la Baye du Montreux du 2 août 1927.

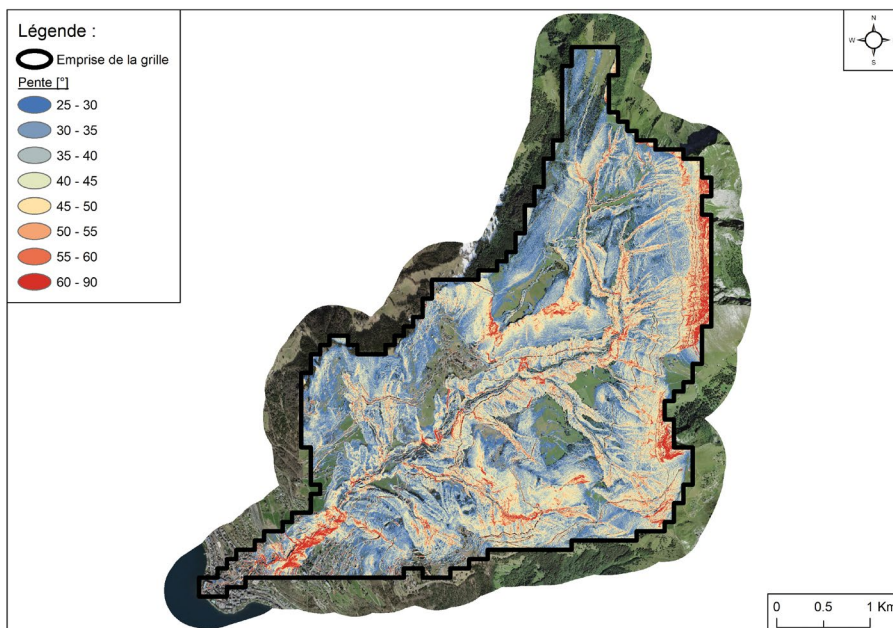


Figure 2 : Pentes du bassin versant de la Baye de Montreux.

faces dénudées (entre 65 et 83% de l'amont du bassin versant) couplées à la déclivité importante et à la présence de matériaux facilement érodables causent un apport important et constant de sédiments dans le cours d'eau, matériaux qui sont alors potentiellement mobilisables par une crue comme celle de 1927.

Après les événements catastrophiques de 1927, les autorités communales, cantonales et fédérales décident de procéder à une afforestation massive du bassin versant, et

en particulier sa partie haute, complètement dénudée (objectif de recouvrement supérieur à 90%). Le projet de reboisement « Verraux-Jaman » est lancé au début des années 1930 et est subdivisé en deux secteurs : Les Verraux (154 ha dont 10% sont boisés en 1933) et Jaman (89 ha dont 30% sont boisés en 1933).

Les plants étant continuellement arrachés par les avalanches et la reptation de la neige, il a alors été rapidement décidé d'entreprendre des mesures techniques de protection. Au fil

du temps et en fonction de l'évolution des connaissances et de la technique, le système global a été adapté, de nouveaux plans mis en place et différents systèmes de protection ont été testés, des terrasses en pierres sèches aux filets paravalanches, en passant par des claies métalliques, des râteliers en aluminium ou même des ouvrages en béton. En 1999, ce sont ainsi environ 50 millions de francs qui ont été investis dans les plantations, les mesures techniques et les études.

Le projet est alors mis en pause jusqu'en 2019, lorsque la commune de Montreux, le canton de Vaud et la Confédération lancent une étude globale ayant comme objectifs de faire l'historique et le bilan du système forêt-ouvrages, d'évaluer l'efficacité de la forêt contre les processus érosifs et contre les avalanches et surtout de proposer un plan d'action (maintien ou renforcement des ouvrages, entretien de la forêt protectrice, etc.).

Les composantes de la cascade sédimentaire du bassin versant

Plusieurs éléments peuvent influencer la cascade sédimentaire d'un bassin versant. Dans le cas du bassin de la Baye de Montreux, celle-ci est caractérisée par les différents paramètres illustrés sur la Figure 3.

L'état actuel du système forêt-paravalanches

Emprise de la couverture forestière

Pour évaluer l'emprise actuelle de la couverture forestière à l'échelle du bassin versant, les données issues des relevés LiDAR aérien de 2017 de Swisstopo sont utilisées (swissALTI3D et swissSURFACE3D). La soustraction du premier au second donne le modèle numérique de hauteur (MNH). Seules les hauteurs de végétation supérieures à 3 m sont conservées, cette valeur étant déterminée comme la hauteur minimale des arbres pour que la forêt ait un effet significatif.

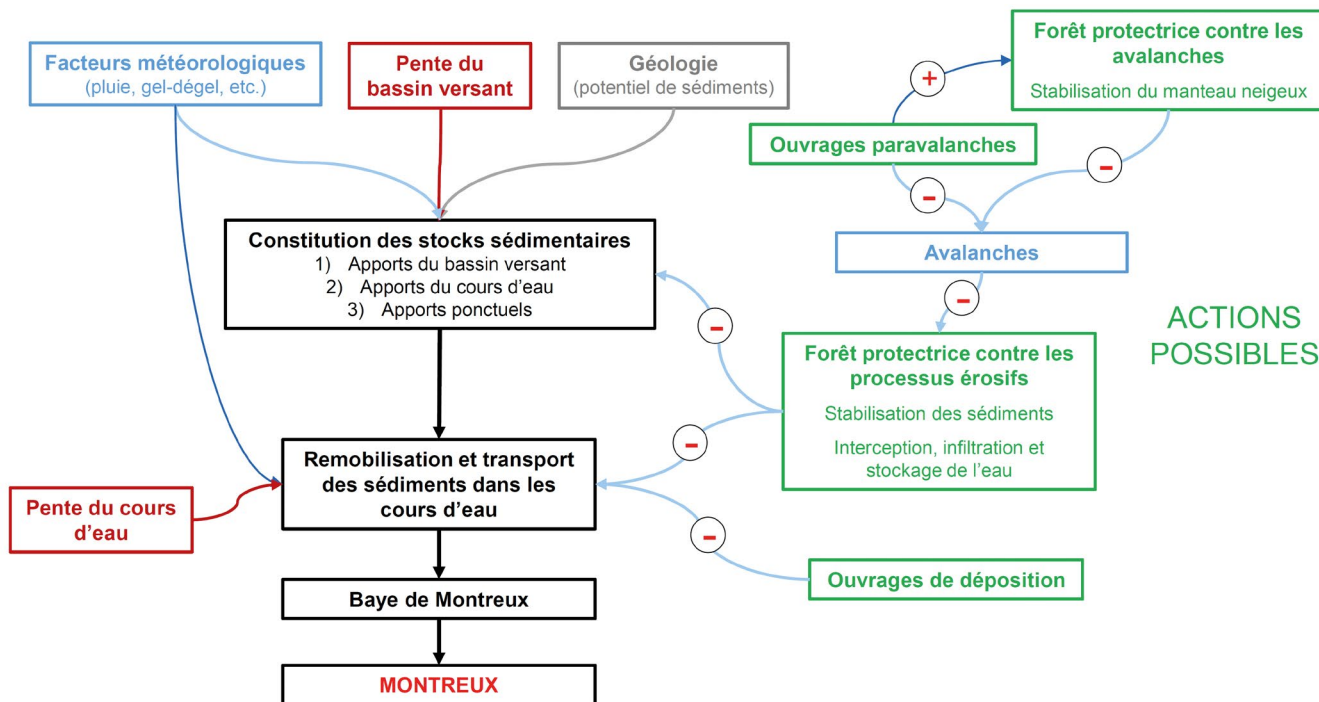


Figure 3 : Composantes internes (rouge) et externes (bleu) de la cascade sédimentaire du bassin versant de la Baie de Montreux et actions possibles (vert).

L'emprise totale de la forêt ainsi calculée est d'environ 8.9 km² (Figure 4). Dès lors, même si le taux de recouvrement à l'échelle du bassin versant dépasse aujourd'hui l'objectif initial du projet de reboisement (en raison de la déprise agricole), les secteurs sommitaux n'ont pas encore atteint les pourcentages initialement recherchés. Or, ceux-ci étant très raides et très exposés aux précipitations intenses, leur dynamique sédimentaire est très élevée et ils jouent ainsi un rôle prépondérant dans l'apport des sédiments dans les cours d'eau. De plus, des avalanches peuvent encore se produire dans certains secteurs et ainsi mener à une dégradation des peuplements forestiers situés à l'aval. Des efforts doivent donc encore être entrepris dans ces pentes sommitales pour garantir la pérennité des investissements importants des dernières décennies.

État des ouvrages paravalanches

L'évaluation de l'état des ouvrages a été réalisée de manière qualitative, en observant leur géométrie et en contrôlant leurs différentes parties visibles, dans les secteurs où la forêt

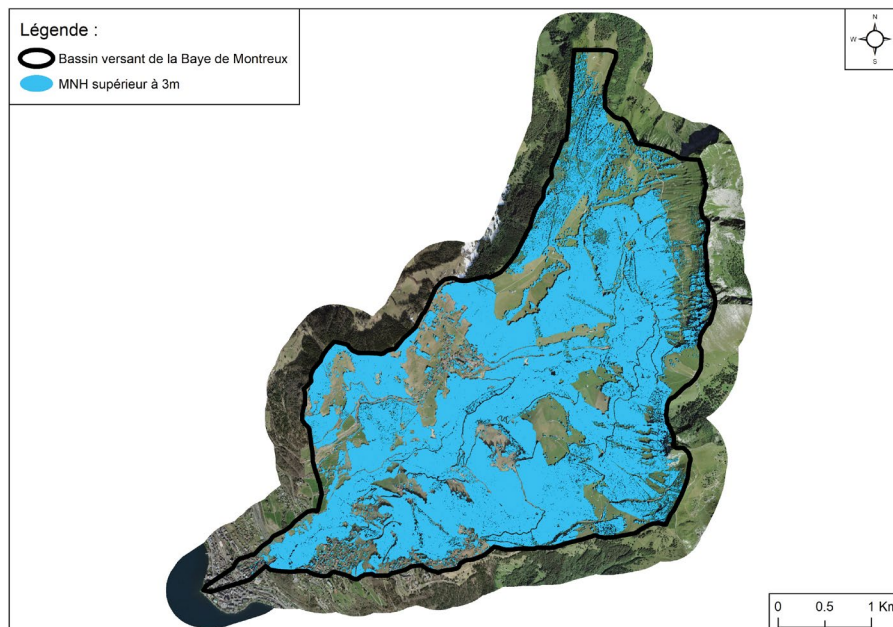


Figure 4 : Végétation supérieure à 3 m de hauteur sur l'ensemble du bassin versant de la Baie de Montreux.

n'avait pas encore atteint un stade suffisant pour assurer son effet protecteur contre le décrochement d'avalanches. En se basant sur la méthode décrite dans le manuel pour le contrôle des ouvrages de protection développé par le Canton du Valais (SFCEP, 2018), différentes classes d'état (bon, suffisant, mauvais, alarmant) ont été attribuées aux ou-

vrages relevés, permettant ainsi de cibler les ouvrages à réparer ou remplacer.

Cette analyse a démontré que la majorité des ouvrages sont encore en bon état. Néanmoins, certains sont fortement endommagés, voire parfois détruits, créant des faiblesses qui peuvent à terme mener à une augmentation rapide des dégâts sur les ouvrages encore

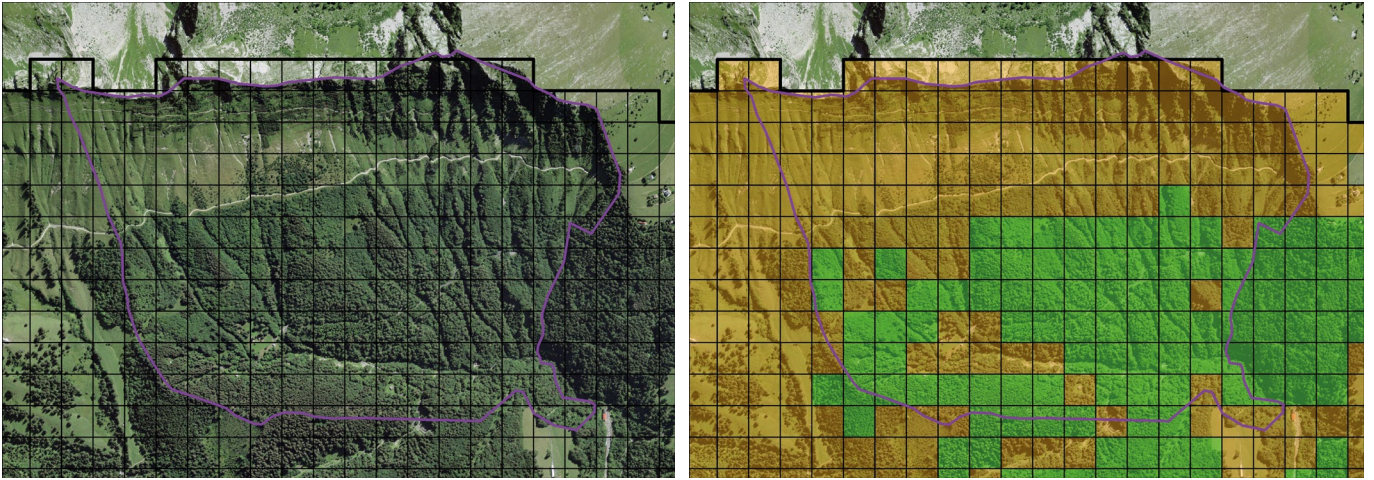


Figure 5 : Efficacité de la forêt contre les processus érosifs (en vert = effet pertinent).

en bon état situés à proximité. Dès lors, différentes interventions devront être menées, selon l'ordre de priorité suivant :

1. Remplacer les ouvrages détruits (état alarmant) ;
2. Réparer les ouvrages trop abîmés (état alarmant d'abord, puis mauvais) ;
3. Vider les ouvrages surchargés de pierres ;
4. Compléter le parc d'ouvrages et procéder à un reboisement, soit dans les zones de décrochement des avalanches menaçant les peuplements forestiers, soit dans les zones d'érosion actives ;
5. Surveiller régulièrement les ouvrages dont la durabilité ou l'efficacité est faible.

L'efficacité de la forêt protectrice selon PROTECT Bio

Dans le contexte des crues torrentielles de la Baye de Montreux, la forêt de protection remplit principalement les quatre « missions » suivantes :

1. Intercepter l'eau de pluie, autant dans sa partie aérienne (branches, feuillage) que dans sa partie superficielle (litière, branches au sol), afin d'éviter un écoulement superficiel et des débits de pointe dans les cours d'eau trop rapides ;
2. Améliorer le stockage des eaux dans le terrain grâce aux racines (pores) ;
3. Stabiliser les terrains sujets aux proces-

sus érosifs (p.ex. ravinement, glissement) grâce à son réseau racinaire,

4. Stabiliser le manteau neigeux dans les pentes propices aux avalanches, pour protéger les boisements sous-jacents.

Les deux premiers objectifs susmentionnés, relatifs à l'effet de la forêt sur le régime hydrologique des eaux, pourraient sembler être les plus importants à quantifier dans le contexte de crues torrentielles. Néanmoins, ces effets sont quasiment impossibles à calculer actuellement à l'échelle d'un bassin versant entier, car ils dépendent intrinsèquement des caractéristiques du sol. Or ces dernières ne peuvent être évaluées automatiquement à l'aide de données globales. De plus, une fois le système saturé, par exemple lors de précipitations extrêmes, ces effets deviennent négligeables. Dès lors, l'étude s'est penchée sur l'évaluation de l'efficacité de la forêt sur les deux autres objectifs, soit sur les processus érosifs et sur le décrochement d'avalanches, l'efficacité de la forêt sur ces processus étant directement liée à la structure forestière, structure qui peut être évaluée automatiquement à l'échelle d'un bassin versant.

L'évaluation sommaire a ainsi été effectuée selon la méthode PROTECT Bio (Wasser & Perren, 2014) pour les départs de glissements de terrain / coulées de boues et pour les décrochements d'avalanches. L'évaluation

des critères définis dans la méthode a été effectuée principalement à partir du MNH qui permet, en plus de définir le taux de recouvrement, de différencier les différentes strates selon la hauteur de la végétation (futaie, perchis, recru). En appliquant cette évaluation à chacune des cellules d'une grille de 100 m × 100 m découpant l'entier du bassin versant, cette méthode a permis de déterminer d'une manière relativement simple et à l'échelle du bassin versant entier les secteurs où la forêt a un effet pertinent (Figure 5). Ce faisant, elle met en évidence les secteurs où des interventions doivent être menées, qu'elles soient d'ordre technique ou biologique.

Répondre à la question de savoir si la forêt dans son état actuel suffit à protéger la ville de Montreux contre les crues torrentielles reste néanmoins très délicat, l'effet de la forêt sur ces phénomènes étant très difficile à quantifier de manière précise, cela d'autant plus à l'échelle du bassin versant. Cependant, bien qu'elle joue un rôle primordial, la forêt n'est pas le seul facteur à considérer dans la problématique du régime sédimentaire de la Baye de Montreux.

Les sources des apports sédimentaires

Provenances des matériaux

Les sédiments qui se déplacent et se déposent dans le lit de la Baye de Montreux proviennent

de trois sources distinctes :

1. Les matériaux provenant de l'érosion du bassin versant ;
2. Les matériaux disponibles dans le lit de la rivière ;
3. Les matériaux disponibles sous forme de lentilles d'érosion sur les rives de la Baye de Montreux.

Le volume de matériaux produit par chacune de ces sources en fonction du temps a été évalué. Dans cette optique, le cours d'eau et ses huit principaux affluents sont segmentés de manière à délimiter des tronçons de cours d'eau homogènes présentant les mêmes caractéristiques géométriques (pente et section hydraulique). Cette discrétisation du cours d'eau permet de modéliser le transport des sédiments entre les différents tronçons (Figure 6).

L'apport sédimentaire du bassin versant

Dans la cascade sédimentaire, l'érosion du bassin versant constitue la recharge du stock de sédiments dans le cours d'eau.

Pour évaluer le volume moyen annuel des apports sédimentaires du bassin versant (Figure 7), la formule empirique développée par Gavrilovich (env. 1950) et mise en évidence dans la thèse de Niki Beyer Portner (1998) est utilisée. Le volume annuel est calculé à partir de paramètres liés à la topographie du bassin versant (pente), aux conditions climatiques (précipitations, température), au degré de couverture du sol (couverture forestière) ainsi qu'à des paramètres géologiques (lithologie, ampleur de l'érosion observable). Un coefficient de rétention est ensuite appliqué pour déterminer la part des sédiments qui est retenue dans les cours d'eau. Ce coefficient dépend de la géométrie du bassin versant et de ses différents affluents (périmètre, altitude moyenne, longueur des affluents).

Selon ce modèle, avec la couverture forestière actuelle, le volume moyen annuel érodé

sur le bassin versant est d'environ 12'000 m³, ce qui correspond à une hauteur d'érosion de 0.83 mm sur l'ensemble du bassin versant. Il est ici intéressant de noter que les sous-bassins versants pentus et présentant une faible couverture forestière, soit principalement sur les pentes sommitales, sont effectivement ceux qui produisent le plus de sédiments. Au contraire, les sous-bassins versants où la pente est faible et où la couverture forestière est importante admettent des hauteurs d'érosion quasi-nulles.

Le calcul a également été réalisé en faisant varier le taux de couverture forestière de 20%. L'augmentation de la couverture forestière conduit à une diminution du volume érodé de l'ordre de 50%, tandis que la diminution de la couverture forestière augmente l'érosion d'environ 1/3 (19'500 m³/an). Cette variation souligne l'importance de la forêt sur la diminution de l'érosion, cela d'autant plus dans les pentes sommitales des Verraux et de Jaman qui ont été en grande partie reboisées.

L'apport sédimentaire stocké dans le lit du cours d'eau

Les sédiments stockés temporairement dans le lit de la rivière et facilement remobilisables lors des crues constituent la menace directe pour la ville de Montreux. Ce volume est conditionné par la géométrie et par l'historique hydrologique du cours d'eau. Pour pouvoir le quantifier, une approche simplifiée basée sur l'observation in situ des dépôts présents dans le lit de la rivière et sur l'estimation de leur largeur et de leur épaisseur a été appliquée. Les variables à ajuster pour calculer l'épaisseur des dépôts sont l'épaisseur maximale moyenne, la pente minimale à partir de laquelle l'épaisseur des dépôts s'amenuit et la pente maximale pour laquelle les sédiments ne peuvent plus se déposer. Le volume de sédiments déposés dans la Baye de Montreux estimé selon cette approche est d'environ 35'000 m³.

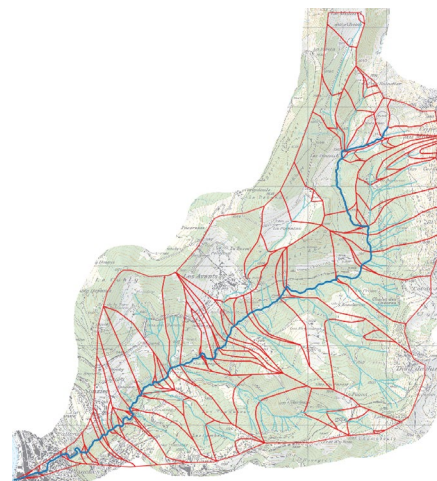


Figure 6 : Découpage du bassin versant en sous-bassins versants.

L'apport sédimentaire provenant des lentilles d'érosion

Vingt-six lentilles d'érosion ponctuelles sont identifiées, essentiellement sur le premier tiers amont de la Baye de Montreux, entre les Pontets et la gare de Jor. Elles constituent des apports sédimentaires additionnels et sont remarquables car le plus souvent situées sur des fortes pentes instables, dépourvues de végétation et érodées en surface

Le volume d'apport sédimentaire additionnel est calculé à partir de l'extension de la lentille et d'une profondeur d'érosion estimative. L'ensemble des 26 lentilles observées représente ainsi un volume estimatif, au minimum, de 27'500 m³.

Transport des sédiments jusqu'au lac

Les sédiments érodés du bassin versant puis stockés temporairement dans la Baye de Montreux, sont ensuite transportés dans le cours d'eau jusqu'à Montreux puis jusqu'au lac Léman. Historiquement, les sédiments transportés dans la Baye de Montreux se déposaient préférentiellement en rupture de pente, en aval des gorges de Chauderon, puis constituaient un cône alluvionnaire à l'entrée du lac. Aujourd'hui, le développement de la ville a figé le lit et la dynamique sédimen-

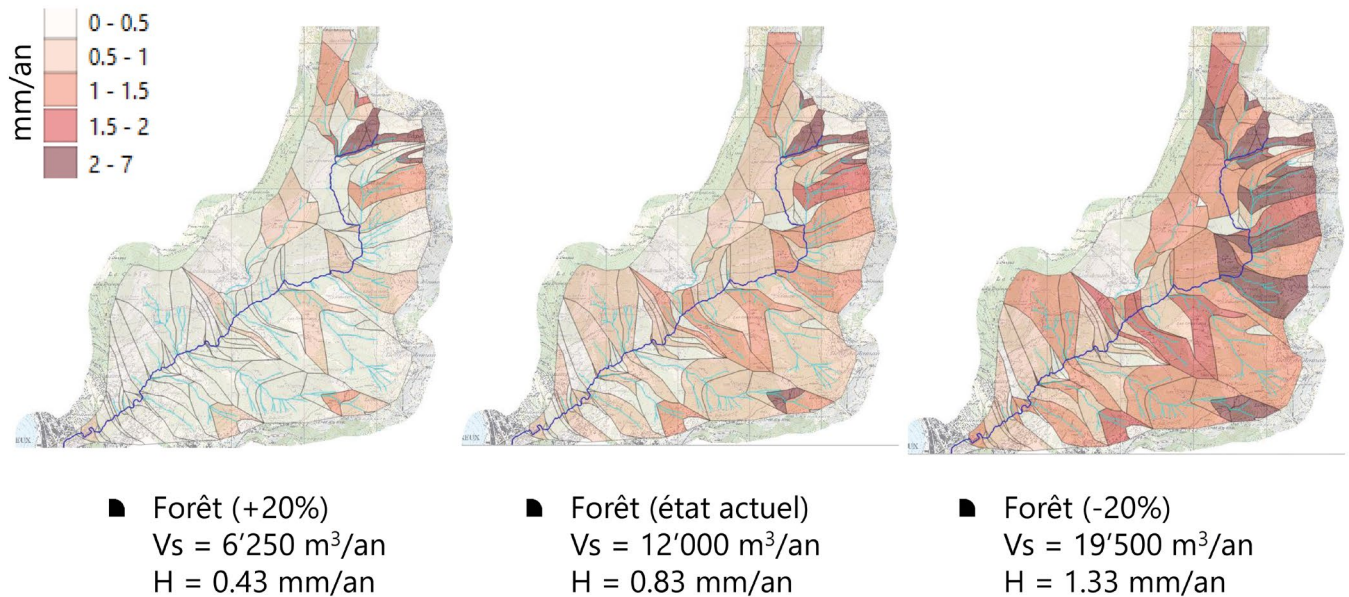


Figure 7 : Calcul du volume moyen annuel érodé (V_s) et de la hauteur moyenne d'érosion annuelle (H) en faisant varier le taux de couverture forestière.

taire en amont du lac (endiguement du lit de la Baye de Montreux). L'objectif est donc de reproduire le transport des sédiments selon les stocks précédemment évalués.

Construction du modèle sédimentaire

Le modèle sédimentaire, qui a pour objectif de reproduire le transport des sédiments dans la Baye de Montreux pour des événements réguliers mais aussi pour des événements historiques (rythme annuel / crue décennale), s'effectue par tronçon homogène (pente et section hydraulique). La capacité de charriage sur chaque tronçon est calculée selon la formule de Rickenmann (1991). Ce modèle ne considère que le charriage. Il admet ainsi implicitement que l'ensemble du transport par suspension n'est pas significatif car intégralement transporté jusqu'au lac. Cette hypothèse est globalement réaliste dans le cas de la Baye de Montreux.

Dynamique annuelle de charriage

Pour déterminer la dynamique annuelle de charriage, l'hydrologie annuelle se base sur les relevés de la station fédérale de mesure sur la Veveyse, située dans la vallée adja-

cente à celle de la Baye de Montreux. Sur la base statistique de ces relevés au prorata des surfaces du bassin versant, les débits de la Baye de Montreux sont reconstitués de 1993 à 2020. L'hydrologie de l'année 2019 se rapproche le mieux de la courbe moyenne et est donc utilisée pour estimer le transport sédimentaire annuel moyen.

Selon la formule de Gavrilovich, un volume annuel moyen de $12'000 \text{ m}^3/\text{an}$ est produit par l'érosion du bassin versant. Il est admis (par hypothèse) que 2/3 de ce volume se déplace par suspension et 1/3 par charriage. Par conséquent, le bassin versant fournit un volume sédimentaire annuel d'environ $4'000 \text{ m}^3$ qui doit être transporté par charriage dans le cours d'eau.

Charriage crue événementielle

La simulation événementielle de la crue de 2015 (toujours sur la base des débits mesurés par la Veveyse et correspondant à un événement de temps de retour entre 10 et 30 ans) montre que $20'000 \text{ m}^3$ de matériaux peuvent transiter en ville de Montreux et sont charriés dans le lac. La modélisation indique un taux de saturation en sédiments de la rivière (ratio

entre le volume des apports sédimentaires et la capacité de charriage) proche de 75 % sur le tronçon urbain. En cas de saturation, l'excédent des sédiments se dépose dans le lit de façon régressive vers l'amont, limitant d'autant la capacité hydraulique du cours d'eau.

Synthèse sur le transport de sédiments

Les deux simulations annuelle et événementielle permettent d'évaluer l'ordre de grandeur du volume de sédiments charriés de manière régulière et lors d'une crue (temps de retour de 10 à 30 ans). Elles permettent également de mettre en relation le volume de matériaux disponibles dans la rivière, à proximité du cours d'eau (berges, lentilles d'érosion) et provenant de l'érosion du bassin versant avec le volume de matériaux transporté dans la Baye de Montreux. Le surplus constitue alors un stock grandissant qui menace directement la ville de Montreux.

La réduction des apports sédimentaires par érosion du bassin versant grâce au développement de la forêt protectrice et des ouvrages paravalanches reste une mesure essentielle pour assurer le maintien du sol et limiter la charge sédimentaire de la

rivière (12'000 m³/an dont 4'000 m³/an par charriage). Néanmoins, les visites in-situ ont permis d'observer des stocks importants de matériaux facilement remobilisables dans le lit du cours d'eau (35'000 m³), ou à proximité immédiate (lentilles d'érosion, 27'500 m³). D'autres mesures doivent alors être prises pour réduire le risque d'inondation / déposition des sédiments en ville de Montreux.

Plan d'action

La problématique relative aux crues torrentielles et à la dynamique sédimentaire de la Baye de Montreux est dépendante de plusieurs facteurs sur lesquels il est possible d'intervenir pour améliorer la protection de Montreux. Même si la forêt joue de manière évidente un rôle essentiel principalement en atténuant la production de sédiments, il est difficile d'affirmer que son état actuel (recouvrement forestier et structure) suffit à protéger efficacement la ville de Montreux. Un élément est néanmoins certain, plus l'emprise de la forêt est grande et plus sa structure est adaptée, moins la production de sédiments du bassin versant sera significative. De ce fait, il est en priorité essentiel de préserver l'emprise actuelle de la forêt et d'assurer son bon développement dans les secteurs où elle n'est pas encore suffisamment efficace contre les processus érosifs ou contre les avalanches (rôle prioritaire en fonction de son emplacement), cela principalement par un entretien forestier et des interventions ciblées visant à atteindre les profils d'exigences définis dans NaiS.

Pour garantir la pérennité des peuplements forestiers jouant un rôle protecteur contre les processus producteurs de sédiments, il est également impératif de protéger des grosses avalanches pouvant les endommager significativement, comme lors de l'hiver 1999. Dans un premier temps, il s'agit donc de réparer les ouvrages existants trop endommagés dans les secteurs où la

forêt n'est pas encore suffisamment développée pour empêcher le décrochement d'avalanches. Il convient également de compléter les plantations en leur sein. Dans un deuxième temps, le système existant doit être complété en agissant de manière ciblée et économiquement raisonnable, non pas pour empêcher tout départ d'avalanches, mais pour diminuer leur ampleur, par exemple en fractionnant les grandes zones de décrochement encore existantes. Concernant les plantations, il faudra cibler les surfaces où les conditions sont favorables (profondeur de sol, hauteur de neige, avalanches et reptation de neige), en les combinant si nécessaire avec des ouvrages techniques.

Comme mentionné plus haut, l'intervention ne doit pas se concentrer uniquement sur la forêt, mais également sur les autres composantes du système sédimentaire. Étant donné leur fort potentiel sédimentaire, des mesures techniques d'assainissement et biologiques (végétalisation) devraient être menées sur les lentilles d'érosion présentes à proximité directe de la Baye de Montreux et de ses affluents, car elles sont une source très importante des sédiments qui se retrouvent déposés dans la rivière.

De plus, la possibilité d'intervenir directement sur le cours d'eau doit également être investiguée plus en détail, soit en réalisant des ouvrages de déposition, soit en mettant en place des barrages à sédiments (p. ex. filets lave-torrentielles) dans les affluents à fort potentiel érosif, soit en générant des crues artificielles à l'aide d'un réservoir à créer.

Finalement, bien que la réalisation de ces différentes mesures actives soit nécessaire, les mesures passives ne doivent pas pour autant être omises, car elles permettent de diminuer significativement le risque. La mise en place d'un système de surveillance, d'alerte et d'alarme, ainsi que l'élaboration d'un plan d'urgence peuvent, en cas d'évènement ma-

jeur, éviter des morts et fortement réduire les coûts résultant d'une catastrophe telle que celle d'août 1927.

Références

- Romang H., 2008 : PROTECT, Effet des mesures de protection. Plate-forme nationale « Dangers naturels ». PLANAT, Bern. 289 p.
- SFCEP, 2018 : Contrôle des ouvrages de protection dans le Canton du Valais COP : processus et déroulement. Service des forêts, des cours d'eau et du paysage – Section dangers naturels, Sion, 72 p.
- Wasser B. et Perren B., 2014 : PROTECT Bio, Méthode d'évaluation de l'effet des mesures de protection biologiques contre les dangers naturels comme base pour leur prise en compte dans l'analyse des risques. Impuls AG, Thoune, 140 p.
- Frehner M., Wasser B. et Schwitter R., 2005 : Gestion durable des forêts de protection. Guide des soins sylvicoles et du contrôle des résultats dans les forêts à fonction protectrice, L'environnement pratique. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 564 p.
- Beyer-Portner, N., 1998 : Erosion des bassins versants alpins suisses par ruissellement de surface. Thèse EPFL n° 1815, Lausanne.
- Rickenmann, D., 1991 : Hyperconcentrated flow and sediment transport at steep slopes, Journal of Hydraulic Engineering (ASCE), 117, 1419-1439.

Calcul du volume de bois flottant et priorisation du rôle protecteur de la forêt : cas d'étude « La Serine »

Marceline Vuaridel¹ (marceline.vuaridel@bfh.ch)

Niels Hollard¹ (niels.hollard@bfh.ch)

Massimiliano Schwarz¹ (massimiliano.schwarz@bfh.ch)

¹ Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires HAFIL, Zollikofen

Zusammenfassung

Schwemmholz spielt für gesunde Flussökosysteme eine wichtige Rolle. Im Rahmen von Revitalisierungsprojekten wird oft seine Erhaltung empfohlen. Schwemmholz stellt allerdings auch ein Risiko dar. Bei Hochwasserereignissen kann das Holz Verklausungen verursachen und so die Überschwemmungen und die Schäden an der betroffenen Infrastruktur verstärken.

Der Wald im Gerinneinhang ist die Quelle des Schwemmholzes. Dies kann zu Holzschlägen und der Abführung des Holzes in diesem Bereich verleiten, um die Menge des potenziellen Schwemmholzes und damit das Verklausungsrisiko zu senken. Es ist dabei aber nötig, die Schutzwirkung des Waldes zu berücksichtigen, insbesondere gegen die Erosion von Uferböschungen und gegen flachgründige Rutschungen; denn diese Prozesse fördern ihrerseits die Mobilisierung von Schwemmholz und Geschiebe.

Résumé

Le bois flottant joue un rôle important dans le bon développement des écosystèmes de rivières. Dans le cadre de projets de revitalisation, il est souvent recommandé de le conserver. Toutefois, il comporte aussi un risque. Lors d'événements de crues, le bois flottant peut être la cause d'embâcles, avec pour effet l'amplification des inondations et l'endommagement des infrastructures impactées.

Dans ce contexte, la présence de forêt en marge des cours d'eau étant la source de ce bois flottant, il est tentant d'effectuer des coupes et des extractions pour en diminuer le

volume et limiter les risques d'embâcles. Mais il est alors nécessaire de prendre en compte l'effet protecteur de ces forêts, en particulier contre l'érosion des berges et les glissements superficiels de terrain, processus eux-mêmes responsables de la mobilisation du bois flottant et de sédiments.

Introduction

Cet article résume les résultats obtenus dans le cadre du projet Calcul du potentiel de bois flottant et priorisation du rôle protecteur de la forêt : cas d'étude « La Serine ». Ce projet propose une méthode de priorisation de forêts en marge de cours d'eau en mettant en balance leur effet protecteur et leur rôle en tant que source de bois flottant afin de minimiser les risques en optimisant les ressources à disposition. Cette méthode a été testée dans La Serine (canton de Vaud), un bassin versant de 29 km². La méthodologie utilisée et les résultats obtenus sont détaillés dans le rapport de projet (Vuaridel et al., 2022).

Trois modèles informatiques sont utilisés pour le calcul de la probabilité d'occurrence de glissements superficiels de terrain et d'érosion des berges ainsi que pour l'estimation du volume de bois flottant lié à ces processus lors des différents temps de retour étudiés. Les produits, sous forme de données géoréférencées, permettent la création de cartes pour une mise en évidence claire des forêts à haut degré de protection et des principales sources de bois flottant. Les valeurs propres au bois flottant permettent également le calcul de la probabilité d'embâcle et du risque dus aux différentes sources de bois.

Les cartes obtenues constituent une base importante pour la hiérarchisation des interventions sylvicoles au niveau des cantons et des secteurs forestiers à plus petite échelle (districts, régions, arrondissements, communes). Les étapes de cette méthode sont résumées dans la Figure 1.

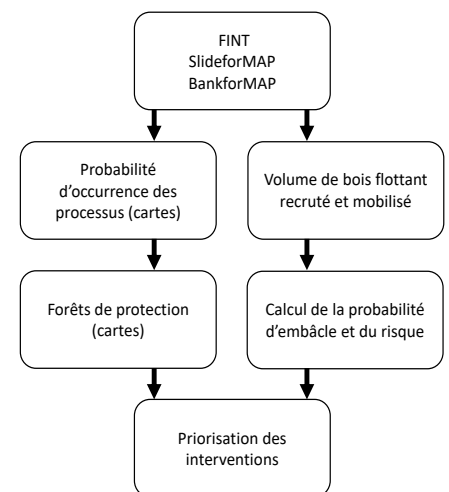


Figure 1 : Schéma conceptuel pour la priorisation des forêts de protection.

Présentation des modèles

Les modèles utilisés dans ce projet sont les suivants :

- FINT, (Find INdividual Trees, Dorren et al. 2017) : permet la détection d'arbres individuels et fournit les positions des arbres dominants, leur taille et leur diamètre à partir d'un MNT et MNS et permet d'obtenir des informations sur la structure de la forêt et le bois à disposition pouvant être déplacé par les processus naturels. Les résultats ainsi obtenus sont ensuite utilisés dans les modèles ci-dessous.

- SlideforMAP (SfM, van Zadelhoff et al., 2021) calcule la probabilité de déclenchement de glissements de terrain superficiels et de leur propagation jusqu'au cours d'eau.
- BankforMAP (BfM, Gasser et al., 2020) calcule la probabilité d'érosion des berges ainsi que les volumes de bois flottant mobilisé (déplacé par les deux processus) et recruté (déplacé jusqu'à atteindre le cours d'eau) et transporté par le cours d'eau. Ces dernières valeurs permettent d'identifier les principales zones d'apport en bois flottant dans le bassin versant.

Résultats des modèles

Les cartes ci-dessous montrent le résultat du calcul de la probabilité de déclenchement de

glissements superficiels de terrain par SfM (Figure 2) et d'érosion des berges par BfM (Figure 3) pour un événement d'une période de retour de 100 ans.

BfM et SfM peuvent aussi être utilisés en simulant un scénario sans forêt ou une forêt fictive (raster construit par l'utilisateur). La comparaison entre le résultat d'un scénario avec la forêt actuelle et un scénario sans forêt permet par exemple de définir les zones où l'effet protecteur de la forêt est particulièrement élevé. La Figure 4 montre la comparaison entre ces zones de protection et les sources principales de bois flottant et permet ainsi une première approche de priorisation au niveau des secteurs forestiers.

Calcul du risque collectif

Le risque est calculé selon la méthode EconoME (EconeMe, OFEV, 2022) dont les étapes sont présentées dans ce paragraphe. La première étape du calcul du risque lié au bois flottant est le calcul de la probabilité d'embâcle. Plusieurs méthodes ont déjà été proposées par le passé, mais elles sont souvent considérées comme trop complexes pour être appliquées systématiquement par les praticiens. Ce projet propose une évaluation simplifiée en trois étapes, schématisée dans la Figure 5.

La première étape consiste à définir si le volume total de bois flottant arrivant jusqu'au pont étudié (en noir sur la Figure 4) V_t (calculé par BfM) est supérieur au volume que celui-ci peut laisser passer (volume critique V_c , à cal-



Figure 2 : Probabilité de déclenchement de glissements superficiels de terrain dans l'état actuel de la forêt pour une période de retour de 100 ans (SlideforMAP).



Figure 3 : Probabilité d'érosion des berges dans l'état actuel de la forêt pour une période de retour de 100 ans (BankforMAP).

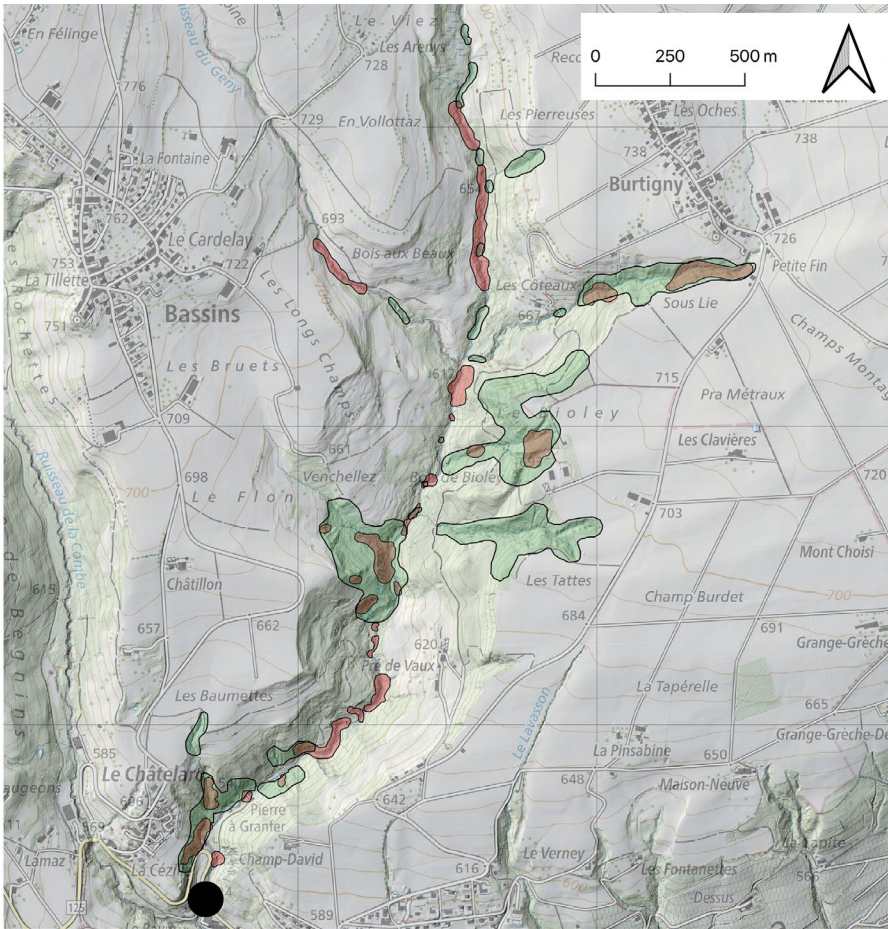


Figure 4 : Comparaison entre les zones où la forêt a un haut degré de protection (en vert) et les principales zones d'apport en bois flottant (en rouge). Le rond noir représente le pont étudié dans ce projet (voir ci-dessous).

culer selon la largeur du pont B et la hauteur d'eau h_0^2). À noter que h_0^2 peut être calculé avec l'outil BankforNET, disponible sur ecorisq.org. La deuxième étape consiste à étudier la longueur moyenne des pièces de bois flottant dans le bassin versant L_m en rapport avec la largeur du pont B . La troisième étape consiste à prendre en compte l'augmentation du niveau de l'eau dû à la présence de bois, pour définir si la revanche f_e (distance verticale entre le niveau de l'eau et le sommet d'une berge ou d'un ouvrage de construction hydraulique, ici un pont) est suffisante pour éviter un embâcle en prenant en compte le diamètre moyen des troncs présents dans le cours d'eau d_{Lm} . Ainsi, la probabilité d'embâcle est existante ($P_e = 1$) ou inexistante ($P_e = 0$). Dans ce dernier cas, le calcul

du risque n'a donc pas lieu d'être, le résultat étant forcément nul.

Ce projet propose également une méthode d'évaluation de l'intensité d'un événement d'embâcle, basée sur le rapport entre le volume de bois flottant transporté par le cours d'eau V_t et le volume critique V_c . Ainsi,

- si $V_t/V_c < 0.2$, l'intensité est forte,
- si $V_t/V_c \in [0.2; 0.5]$, l'intensité est moyenne,
- si $V_t/V_c > 0.5$, l'intensité est faible.

Les valeurs de vulnérabilité sont basées sur le résultat d'un travail de bachelor à la BFH-HAFL (Bögli, 2022) qui consiste en une simplification des valeurs fournies par EconoME. Pour un pont sans infrastructure, tel que présent dans La Serine, cette valeur est p. ex. de 360'000 CHF pour une intensité forte.

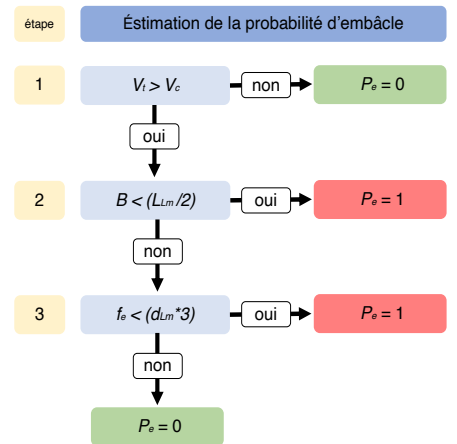


Figure 5 : Méthode d'évaluation de l'occurrence d'un embâcle.

Le Tableau 1 résume les valeurs obtenues dans les étapes intermédiaires ainsi que le résultat final du calcul du risque collectif tel que défini par la méthode EconoME.

Répartition spatiale du risque lié au bois flottant

Ce projet propose une méthode d'évaluation de la répartition spatiale des valeurs de risque (en CHF/an), attribuée aux valeurs de bois flottant réparties dans le cours d'eau comme indication pour une priorisation des mesures sylvicoles au niveau cantonal. On admet que le risque lié à une pièce de bois flottant diminue avec l'augmentation de sa distance à l'infrastructure étudiée et augmente avec le volume de cette pièce de bois. Les résultats de cette méthode sont présentés sur la Figure 6 pour le bois mobilisé par l'érosion des berges et sur la Figure 7 pour le bois mobilisé par les glissements superficiels de terrain.

Discussion

La méthode développée dans ce projet permet donc une priorisation des mesures sylvicoles en considérant l'effet de protection des forêts et le risque lié au bois flottant. Elle peut être appliquée à l'échelle d'un bassin versant ou à plus grande échelle.

Dans le but de diminuer le risque lié au bois flottant, il est possible d'utiliser deux approches. La première consiste à prélever suffisamment de bois dans le bassin versant pour réduire la probabilité d'embâcle, et donc le risque, à zéro. La méthode proposée ici permet de calculer le volume minimum de bois

à extraire. Si cela n'est pas possible, on peut agir sur les valeurs de risque spatialement réparties en priorisant les zones où les valeurs sont les plus élevées pour diminuer le risque efficacement.

Dans le cas étudié ici dans le bassin versant de La Serine, l'érosion des berges est

largement responsable de la présence de bois flottant. Si on cherche à éviter tout risque d'embâcle, il convient donc de prioriser une intervention sur le bois flottant lié à l'érosion des berges. La Figure 7 met en évidence des valeurs locales élevées de risque liées aux glissements superficiels. Dans le cas d'une approche par diminution du risque, il conviendrait donc de prioriser une intervention sur le bois flottant lié aux glissements superficiels, et ce dans les zones en aval, car la distance au pont a une grande influence sur le risque.

Tableau 1 : Résultats du calcul du risque pour les différentes périodes de retour et le risque total annuel lié au bois flottant pour le pont cantonal de la Serine.

Période de retour T_r (a)	Volume transporté V_t (m ³)	Volume critique V_c (m ³)	Ratio V_c/V_t	Classe d'intensité	Domages (CHF)	Risque R_t (CHF/a)
30	269	63	0.23	moyenne	55'000	1'833
100	321	63	0.20	moyenne	55'000	550
300	345	63	0.18	forte	360'000	1'200
1000	447	63	0.14	forte	360'000	360

Risque collectif total (CHF/a) : 2'822

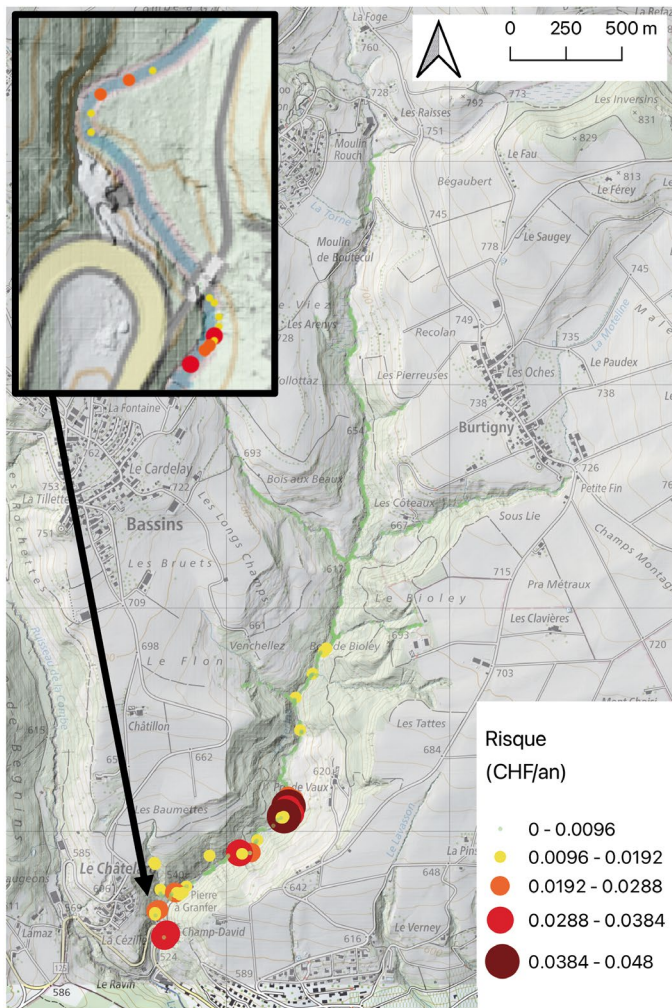


Figure 6 : Risque (CHF/an) lié au bois flottant dû à l'érosion des berges calculé sur la base du volume de bois mobilisé/recruté (BankforMAP) et de la distance au pont cantonal.

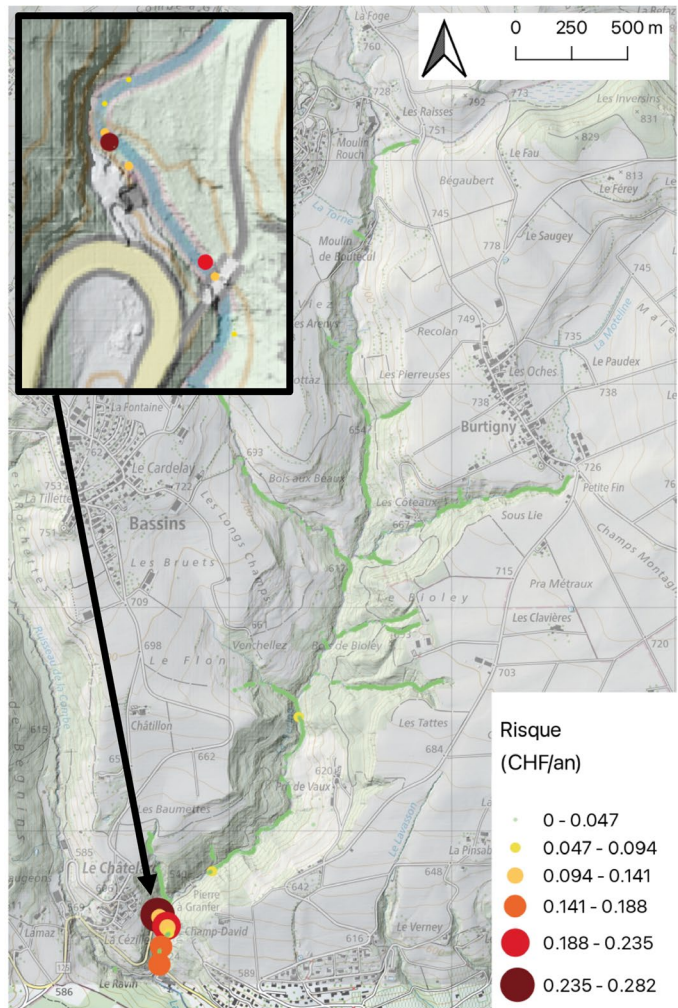


Figure 7 : Risque (CHF/an) lié au bois flottant dû aux glissements superficiels de terrain calculé sur la base du volume de bois recruté (SlideforMAP) et de la distance au pont cantonal.

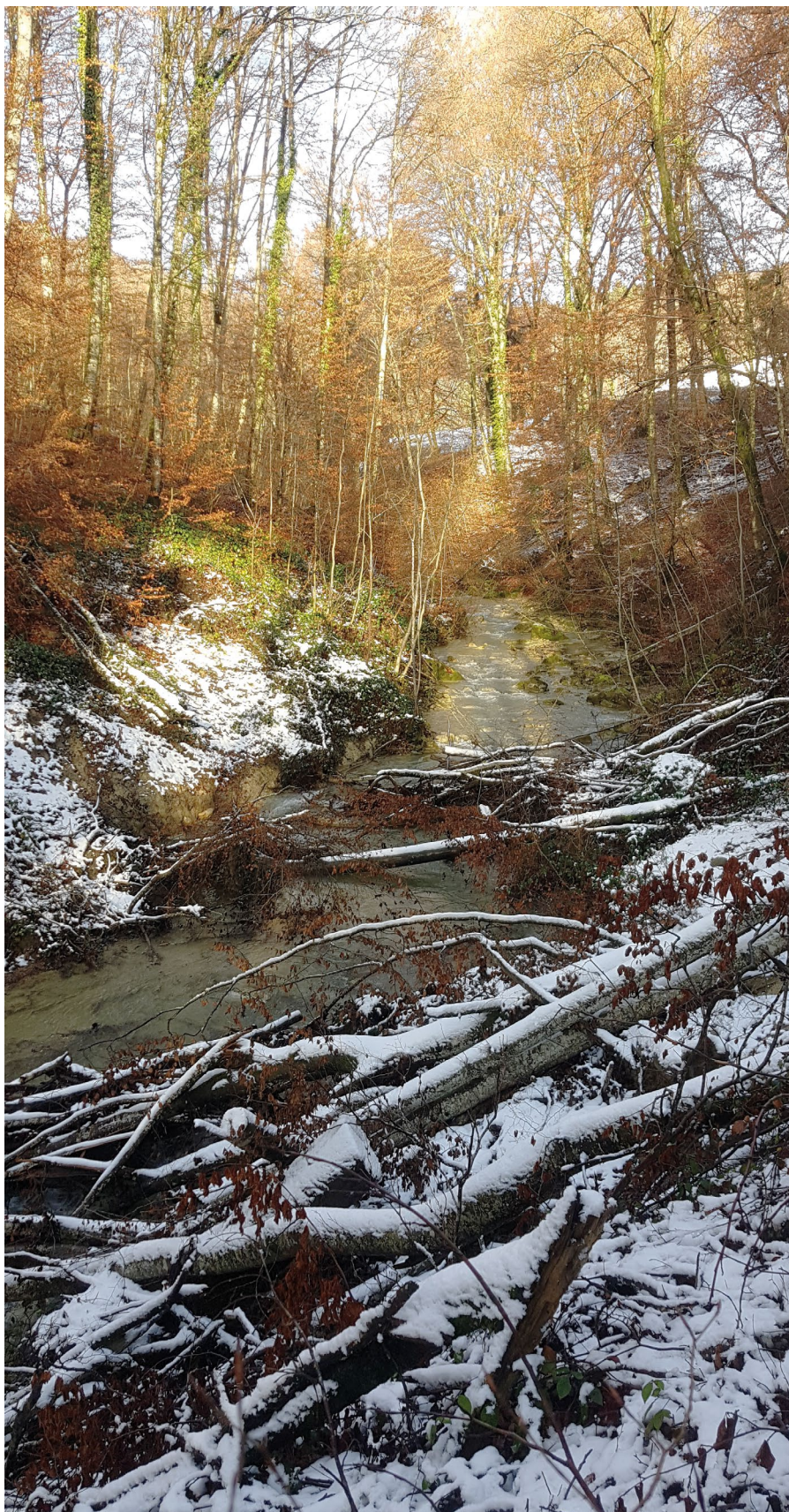
Collaborateurs et remerciements

Ce projet pilote a été mandaté par la Direction Générale de l'Environnement du canton de

Vaud (DGE) et effectué par la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL, BFH) en collaboration avec l'inspection des forêts du 14^{ème} arrondissement, le groupement forestier de La Serine (AGFORS) et HOLINGER AG. Nous tenons donc à remercier Catherine de Rivaz Gilliéron, Fabian Drolinger, Jérémie Délèze, Denis Pidoux et Paolo Perona pour leur contribution.

Bibliographie

- Bögli, A. (2022). *Méthodologie d'estimation des risques liés au bois flottant*. (Travail de Bachelor). BFH-HAFL.
- Dorren, L. (2017). *FINT – Find individual trees. User manual*. ecorisQ paper.
- EconoMe, OFEV (2022). *Efficacité et rentabilité des mesures de protection contre les dangers naturels*. https://econome.ch/eco_work/. Version 5.1.
- EcorisQ (2022). *EcorisQ International association for Natural Risk Management*. www.ecorisq.org/
- Gasser, E., Perona, P., Dorren, L., Phillips, C., Hubl, J., Schwarz, M. (2020). A new framework to model hydraulic bank erosion considering the effects of roots. *Water*, 12, 893-905.
- Schalko, I. (2018). *Modeling hazards related to large wood in rivers* (Thèse de doctorat). ETH.
- Vuaridel, M., Hollard, N., Perona, P., Schwarz, M. (2022). Calcul du potentiel de bois flottant et priorisation du rôle protecteur de la forêt : cas d'étude « La Serine ». *BFH-HAFL, mandat DGE Vaud*.
- van Zadelhoff, F. B., Albada, A., Cohen, D., Phillips, C., Schaeffli, B., Dorren, L., Schwarz, M. (2021). Introducing Slidefor-Map; a probabilistic finite slope approach for modelling shallow landslide probability in forested situations. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-33.



Bois flottant dans un cours d'eau dans la zone du projet, décembre 2021. Photo : Marceline Vuaridel.



Beschädigte Wilddachsperre in der Githa im Gebirge der Meeres- Rauschung, 2018. Foto: Bruno Gerber, Oberrheinischer Kreis II, Teilraum des Kantons Bern