Bull. angew. Geol. Vol. 13/2, 2008 S. 83-95

Simulation von gravitativen Naturgefahren für das Schutzwaldmanagement in der Schweiz: das Projekt SilvaProtect-CH

Marzio Giamboni[1], André Wehrli[2], Stéphane Losey[2]

Vortrag zum Thema «Gefahrenhinweiskarten», gehalten am 17. Oktober 2008 an der 18. Bodenseetagung der deutschen, österreichischen und schweizerischen Fachgruppen für Ingenieurgeologie in Allensbach (D).

Stichworte: Naturgefahren, geologische Massenbewegungen, Schutzwald, Schutzbauten, GIS, Bundessubventionen

Zusammenfassung
SilvaProtect-CH ist ein Beispiel eines GIS-basierten, modularen Ansatzes, mit dem Naturgefahrenprozesse, darunter geologische Massenbewegungen, über die gesamte Fläche der Schweiz nach einheitlichen Kriterien modelliert und daraus nachvollziehbare, realistische Prozesswirkungsräume dargestellt wurden. Die dadurch ermittelten Gefahrenräume bilden die Grundlage für die Aufteilung der finanziellen Mittel des Bundes auf die Kantone. Das Modell zeigt, dass auf GIS-basierten Ansätzen heute komplexe und aussagekräftige Simulationen möglich sind, welche bei sich ändernden Rahmenbedingungen mit relativ bescheidenem Aufwand nachkalkuliert werden können. SilvaProtect-CH ist zudem ein Beispiel für das interdisziplinäre Umfeld angewandter Geologie.

[1] Kantonales Laboratorium Basel-Stadt, Fachstelle Gefahrenprävention, CH-4012 Basel, marzio.giamboni@bs.ch; ehemals Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, CH-3003 Bern

[2] Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, CH-3003 Bern; andre.wehrli@bafu.admin.ch, stephane.losey@bafu.admin.ch

Abstract
The project SilvaProtect-CH is a good example of a GIS-based, modular approach to assess natural hazards over a large area. In SilvaProtect-CH, several natural hazards (including geological mass movements) were simulated for whole Switzerland following standard guidelines in order to provide comprehensible and realistic hazard areas. These areas were then used as a basis for an objective distribution key of the federal subsidies for the management of protection forests. SilvaProtect-CH reveals that based on a GIS-platform, complex and significant simulations can be used as powerful tools in hazard assessment. The GIS-approach furthermore allows minimizing the work for revaluation if basic conditions change. Last but not least, SilvaProtect-CH provides a good example for the interdisciplinary environment of applied geology.

Résumé
Le projet SilvaProtect-CH est un bon exemple d'approche modulaire à l'aide du SIG afin d'évaluer les dangers naturels sur une grande surface. Dans SilvaProtect-CH, différents dangers naturels (y compris les mouvements de masse) sont modélisés pour toute la Suisse selon les recommandations standards afin de fournir des surfaces de dangers compréhensibles et réalistes. Ces surfaces sont ensuite utilisées comme base pour une clé de répartition objective des subventions de la Confédération pour la gestion des forêts protectrices. SilvaProtect-CH démontre que des simulations complexes et pertinentes, basées sur une plateforme SIG, peuvent être utilisées comme instrument puissant pour l'évaluation des dangers. Par ailleurs, l'approche SIG permet de minimiser le travail lors de réévaluation si les conditions de base changent. Finalement, SilvaProtect-CH est un bon exemple pour un environnement interdisciplinaire appliqué à la géologie.

1. Einleitung, Hintergrund und Projektziele

Das Schweizerische Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz) von 1991 verpflichtet die Kantone zur Ausscheidung von Schutzwäldern (Art. 18 der Verordnung über den Wald). Dazu wurden vom früheren Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) die Kriterien zur Ausscheidung der Wälder mit besonderer (direkter) Schutzfunktion festgelegt; zur Ausscheidung der Wälder mit (indirekter) Schutzfunktion wurden hingegen nur generelle Angaben gemacht. Die nachfolgende Umsetzung erfolgte von Kanton zu Kanton verschieden und wurde vom BUWAL nicht begleitet. Da die Vorgaben vom Bund einen gewissen Interpretationsspielraum zuliessen, sind die aktuellen kantonalen Schutzwaldausscheidungen über die Schweiz gesehen nicht einheitlich.

Um dauerhaft eine hohe Schutzwirkung erbringen zu können, werden Schutzwälder gemäss speziellen Richtlinien gepflegt. Dies generiert zusätzliche Kosten und macht so den Einsatz von öffentlichen Mitteln nötig. Da aber die Bundesmittel trotz steigendem Schadenpotenzial immer knapper werden, müssen sie stets effizienter und kostenwirksamer eingesetzt und möglichst objektiv verteilt werden. Letzteres, nämlich eine objektive Zuteilung der Bundesmittel, entspricht auch einer lange gehegten Forderung der Kantone. Aus diesem Grund vermögen die unterschiedlichen kantonalen Schutzwaldausscheidungen nicht mehr zu genügen. An einer Schutzwaldtagung im Jahre 2003 sind Bund und Kantone daher übereingekommen, die Schutzwaldausscheidung nach harmonisierten Kriterien vorzunehmen, um künftig eine gesamtschweizerische Ausscheidung von vergleichbarer Qualität und somit eine Basis für eine objektivere Mittelzuteilung auf die Kantone zu haben. Immerhin geht es darum, für die erste NFA-Periode 2008-2011 (NFA: Neuer Finanzausgleich) 231 Mio. Franken für die Schutzwaldpflege und 186 Mio. Franken für Schutzbauten an die Kantone zu verteilen.

Um diese Ziele zu erreichen hat das BUWAL respektive dessen Nachfolgerin, das Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004 das Projekt SilvaProtect-CH gestartet. In diesem Projekt sollten umfangreiche Grundlagen zu Gefahren- und Schadenpotenzial zusammengetragen und damit folgende Hauptziele erreicht werden:

1] ein objektiver Zuteilschlüssel der Bundesmittel auf die Kantone für Schutzwaldpflege (sogenannter **Schutzwaldindex**);
2] ein objektiver Zuteilschlüssel der Bundesmittel auf die Kantone für Schutzbauten im forstlichen Bereich (sogenannter **Schadenpotenzialindex**);
3] **harmonisierte Kriterien** zur Schutzwaldausscheidung in der Schweiz.

SilvaProtect-CH basiert auf einem partizipativen Ansatz zwischen dem BAFU und verschiedenen Partnern, welche unter anderem in verschiedenen Begleitgruppen eingebunden wurden. Um die oben genannten Ziele zu erreichen, wurde das Projekt in zwei Phasen aufgeteilt, welche im Folgenden kurz beschrieben werden. Detaillierte Informationen zum Projekt finden sich auch unter www.umwelt-schweiz.ch/silvaprotect.

2. Phase I: Zusammenstellung der Grundlagen und Modellierung

2.1 Rahmenbedingungen und Aufbau

Mit SilvaProtect-CH wollte das BAFU eine über die gesamte Schweiz einheitliche und nach objektiven Kriterien gestaltete Grundlage erarbeiten. Dem Projekt wurden daher folgende Rahmenbedingungen gestellt:

- die verwendeten Eingangsdaten müssen für die ganze Schweiz in gleicher Qualität verfügbar, regelmässig nachgeführt und dokumentiert sein;

- das eingesetzte System muss eine dynamische Datenhaltung ermöglichen, so dass verschiedene Szenarien berechnet werden können und schnell alternde Daten (z. B. das Schadenpotenzial) jederzeit ersetzt werden können.

Ziel des Projektes ist es, aufgrund der modellierten Gefahrenprozesse jene Waldgebiete zu bestimmen, welche eine Schutzfunktion bezüglich den wichtigsten Schadenpotenzialen (Personen, Sachwerte) unseres heutigen Lebensraumes haben und denen entsprechend prioritär die beschränkten finanziellen Mittel des Bundes zukommen sollten.
SilvaProtect-CH basiert auf fünf Modulen, welche in einem Geographischen Informationssystem GIS verknüpft werden (Fig. 5):

Modul SILVA

Aus der digitalisierten Landeskarte 1:25'000 wurden die relevanten Waldflächen extrahiert (Wald, offener Wald, Geröll in Wald, Geröll in offenem Wald, Sumpf in Wald, Sumpf in offenem Wald). Diese Flächen wurden mit dem digitalen Datensatz der Schadenflächen der Stürme Vivian (1990) und Lothar (1999) ergänzt, um den kompletten Waldperimeter zu erhalten.

Modul EVENT

In diesem Modul wurden die Gefahrenperimeter hergeleitet. Dazu wurden die einzelnen Naturgefahrenprozesse modelliert. Die Modelle sind dabei anhand von mehreren Testgebieten geeicht und die Resultate aus dieser Testphase zusammen mit kantonalen Fachexperten validiert worden. Mit den so ermittelten Parametereinstellungen wurden die jeweiligen Modellierungen über die ganze Schweiz durchgeführt.
Im Modul EVENT wurden folgende Naturgefahren bearbeitet: Sturzprozesse, Hangmuren, Lawinen und Murgänge. Zudem wurden jene Flächen gesucht, aus denen Schwemmholz hervorgehen kann sowie die Bestimmung jener Waldflächen durchgeführt, die hydrologisch wirksam sind.
Die Berechnungen für den Prozess «Lawine» erfolgten durch die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL - Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. Die anderen Prozesse wurden durch private Büros, welche teils in Arbeitsgemeinschaften zusammengeschlossen waren, bearbeitet.

Sturzprozesse

Das verwendete Steinschlagmodell Geotest/Zinggeler (Zinggeler 1990) berechnet Sturzbahnen von Steinen und Blöcken auf digitalen dreidimensionalen Geländemodellen (DGM). Der Prozessbereich Stein-/Blockschlag kann damit relativ zuverlässig modelliert werden, wobei der Wirkungsraum mit dem physikalischen 3D-Trajektorienmodell abgebildet wird (Fig. 1). Die Berechnung von Flugbahnen und Kontaktreaktionen mit dem Untergrund ermöglicht eine realistische Abbildung der Wirklichkeit und hat folgende Eigenschaften:
- realistische Bündelung der Trajektorien im komplexen Relief (mit eventueller Überwindung schwacher Gegensteigungen);
- realistischer Energieabbau der Sturzenergie in stark eingeschnittenen Rinnen (3D-Effekt).

Innerhalb definierter, aus der Felsmaske der digitalen Landeskarte der Schweiz 1:25’000 extrahierter Ausbruchzonen wurden Startpunkte mit einem gegenseitigen Abstand von 20 m generiert. Ausgehend von diesen Punkten wurde der Sturz eines Blockes als Abfolge von Kontaktreaktionen des Sturzkörpers mit dem Untergrund bzw. dem Wald als Flugparabeln sowie einer Rollbewegung modelliert. Die Informationsdichte der Eingabeparameter richtet sich einerseits nach der Grösse des Untersuchungsgebietes und

andererseits nach dem vorgegebenen Untersuchungsziel. Für SilvaProtect-CH wurden standardisierte Werte eingesetzt, die es ermöglichen sollen, die grösstmöglichen realistischen Reichweiten zu berechnen. Die Simulationen basierten auf einem Einheitsblock mit den Hauptachsen 1.2 x 1.1 x 1.0 m (ca. 2'800 kg). Die berechneten Trajektorien sind somit repräsentativ für Blockschläge und kleine Felsstürze. Die Dämpfung des Untergrundes wurde aufgrund grob definierter Hangneigungsbereiche und dem Vorliegen von Waldflächen abgeleitet. Dabei wurden 5 Geländetypen mit total 7 verschiedenen Dämpfungswerten zwischen 1.0 (Fels) und 4.0 (Sumpf) verwendet. Schutzbauten wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Ausnahmen bildeten grössere Geländeschüttungen (Schutzdämme), welche sich morphologisch im verwendeten digitalen Geländemodell DHM25/10 abzeichnen.

Das Programm berechnete tausende von Sturzbahnen, deren Umhüllende den Prozessraum Sturz definiert. Insgesamt wurden 9.3 Millionen Sturz-Trajektorien berechnet und in den Modulen INTERSECT und SYNTHESE weiterverarbeitet.

Hangmure, spontane flachgründige Rutschungen

Die Modellierung des Prozesses Hangmure erfolgte zweistufig. Zuerst wurden mit dem Modell SliDisp potentielle Anrissflächen modelliert, anschliessend mit dem Modell SlideSim die Transit- und Auslaufbereiche berechnet.

SliDisp: Das Modell SliDisp (Liener 2000) bestimmt mit Hilfe der Stabilitätsberechnungsmethode «Infinite-Slope-Analysis» die Hangstabilität für jede Rasterzelle von 10 × 10 m. Die massgebenden Parameter sind die Hangneigung sowie die Scherfestigkeit (Kohäsion und Reibungswinkel) des geologischen Untergrundes. Grundlage bildet die geotech-

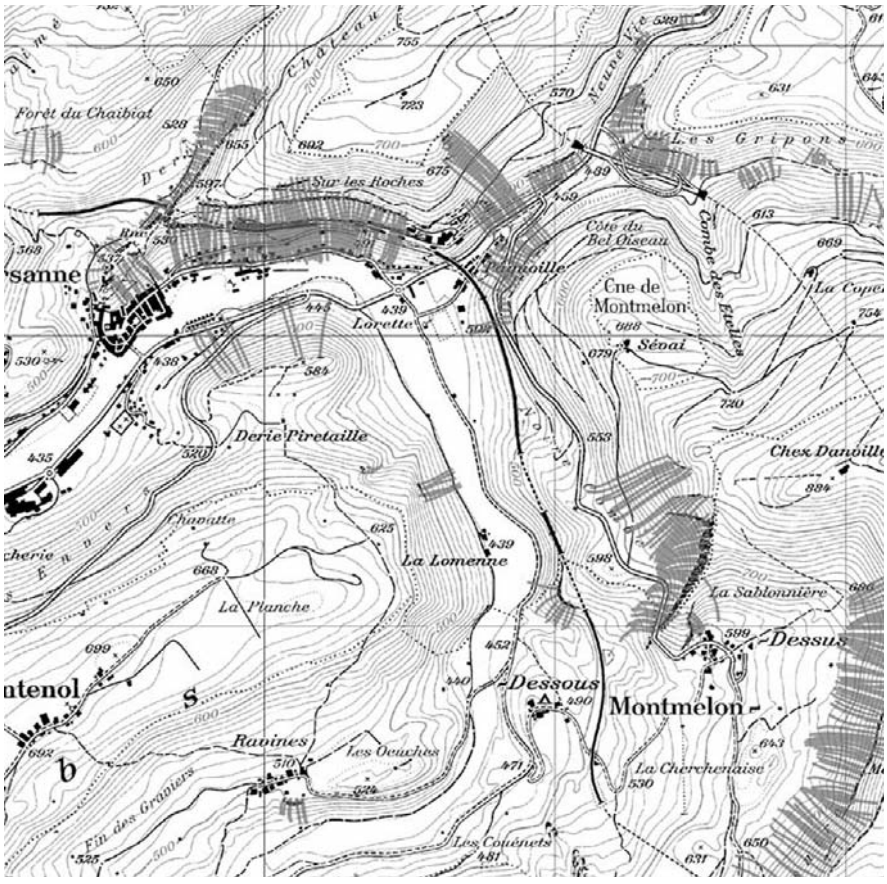


Fig. 1:
Trajektorien (dunkelgrau) des Prozesses Sturz.

nische Karte der Schweiz 1:200'000, deren 69 geotechnischen Einheiten zusammengefasst und bezüglich Schuttproduktion (Verwitterungsschutt), Gefüge (Matrix) sowie Durchlässigkeit neu klassiert wurden. Für das Modell wurden letztlich 28 geotechnische Klassen gebildet. Bei der Auslösung von Hangmuren spielt die Wassersättigung des Untergrundes eine wesentliche Rolle. Gestützt auf die Angaben zu extremen Punktregen (HADES Blatt 2.4, extreme Punktregen 24 h, 100-jährliches Ereignis) wurde die Scherfestigkeit in den Starkniederschlagszonen durch eine Reduktion des Reibungswinkels φ um 2° (Niederschlagsmenge 150-200 mm) und um 3° (Niederschlagsmenge > 200 mm) herabgesetzt.

Für das Modell SliDisp ist der Porenwasserdruck des Lockermaterials eine entscheidende Grösse. Die Festigkeit des Lockermaterials hängt unter anderem eng zusammen mit dessen Mächtigkeit und Wassersättigung. Diese Wassersättigung ist zeitlich äusserst variabel und kaum zuverlässig bestimmbar. Für die Modellierung wurde daher ohne den sehr sensitiven Parameter der Kohäsion gerechnet (d. h. Kohäsion = 0, vollständig gesättigter Untergrund). Um dem Aspekt der Kohäsion trotzdem einzubeziehen, wurde eine grobe Annäherung mit den Extremniederschlägen (extreme Punktregen, HADES) vorgenommen.
Um die hohe natürliche Variabilität der Scherparameter abzubilden, wurde der Reibungswinkel nicht durch einen fixen Wert pro geotechnischer Klasse, sondern durch Normalverteilungen beschrieben. Das Modell wählt wiederholt einen Wert aus den Normalverteilungen aus und berechnet jeweils den Sicherheitsfaktor F (Monte-Carlo-Simulation). Der Sicherheitsfaktor F einer Rasterzelle ist das Verhältnis von rückhaltenden zu treibenden Kräften. Wenn von 100 Berechnungsläufen mehr als 60-mal ein Sicherheitsfaktor F<1 resultiert, wird die Rasterzelle als Hangmuren-Anriss klassiert.

SlideSim: Basierend auf der Topographie und der Hangneigung sowie unter Berücksichtigung der Ausbreitungsparameter (Ausbreitungsfaktor, Persistenzfaktor, Grenz-

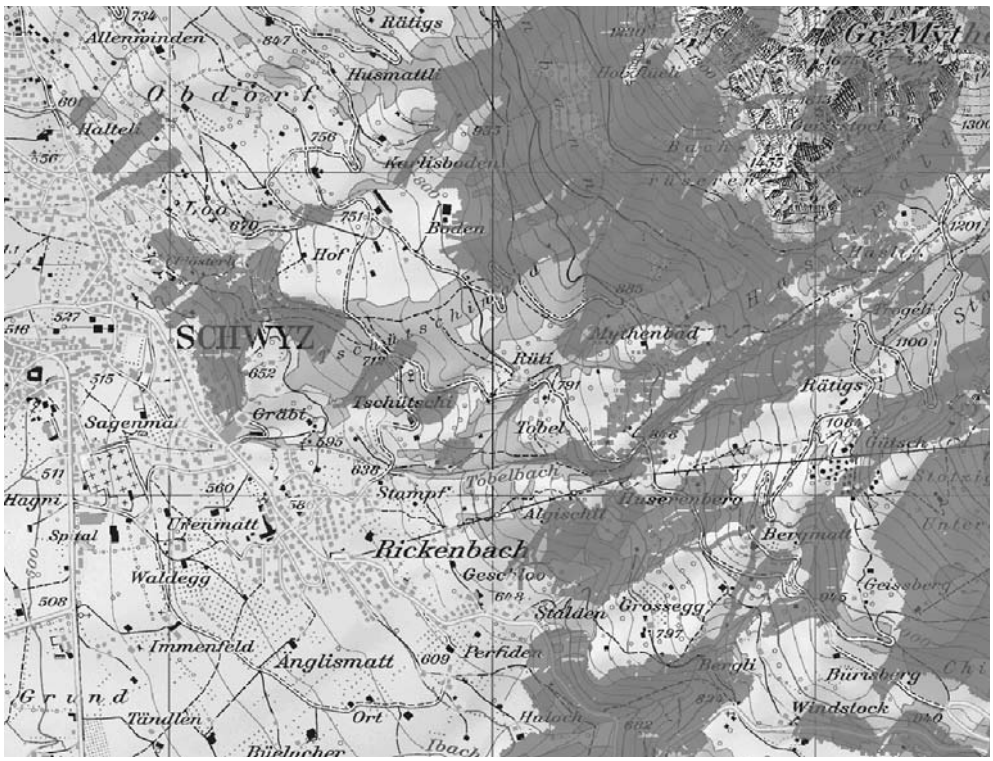


Fig. 2:
Anriss- und Transit-/Ablagerungsbereiche von Hangmuren (in dunkelgrau).

neigung) werden die Ausbreitungswege von Hangmuren mit einer stochastischen Methode (random-walk-Ansatz) simuliert.

Die Reichweite der Hangmuren wird mit einem einfachen analytischen Ansatz, dem Voellmy-Ansatz bestimmt. Das Modell beruht auf zwei Reibungsparametern (Gleitreibungswert μ, Mass der inneren Reibung M/D), welche empirisch anhand von Analysedaten aus Unwetterereignissen (z. B. Napfgebiet 2002) festgelegt wurden. Das Modell SlideSim berechnet mit dem 2-Parameter-Ansatz abschnittsweise die Geschwindigkeit der Hangmuren entlang des Fliessweges. Sobald die Geschwindigkeit Null erreicht wird, stoppt die Modellierung.

Insgesamt wurden 47.6 Millionen Hangmuren-Trajektorien für die Weiterverwendung in den Modulen INTERSECT und SYNTHESE gerechnet (Fig. 2).

Lawinen

Potentielle Lawinenanrissgebiete wurden aufgrund einer Analyse des Digitalen Geländemodells ermittelt, wobei unterschieden wurde, ob die Anrisse im Wald oder ausserhalb des Waldes vorkommen. Bei den Berechnungen wurde für jedes Teilgebiet aufgrund der extremwertstatistischen Analyse von Messdaten langjähriger Stationen die Anrissmächtigkeit einer Lawine mit einer 300-jährlichen Wiederkehrdauer ermittelt. Aus methodischen Gründen wurden bestehende Lawinenverbauungen, wie sie in der Schweiz gebietsweise weit verbreitet sind, nicht berücksichtigt.
Für die Modellierung wurde das zweidimensionale Voellmy-Salm-Modell AVAL-2D verwendet (Bartelt et al. 1999). AVAL-2D ist eine direkte Weiterentwicklung des eindimensionalen numerischen Modells AVAL-1D. Um zu gewährleisten, dass der Auslaufbereich jeder Lawine zum entsprechenden Anrissgebiet zurückverfolgt werden kann, sind die Anrissgebiete so aufgesplittert worden, dass sich die Lawinenbahnen benachbarter Anrissgebiete nicht überschneiden. Weil in der Realität benachbarte Anrissgebiete in extremen Situationen auch gemeinsam anbrechen können und entsprechend eine grössere Masse ins Tal fliesst, besteht jedoch die Gefahr, dass die Lawinengefährdung in einzelnen Gebieten unterschätzt wird. Diesem Umstand wurde bis zu einem gewissen Grad Rechnung getragen, indem die Reibungswerte leicht tiefer gewählt wurden als in den bisher manuell durchgeführten Einzelberechnungen von Lawinenzügen.

Die Schweiz wurde aufgrund von topografischen Trennlinien in 30 operationelle Gebiete des Alpenraumes und des Juras mit einer maximalen Grösse von 1'500 km^2 aufgeteilt. Auf einer Fläche von 28'000 km^2 der Schweiz sind insgesamt ca. 10'000 Simulationsrechnungen durchgeführt worden. Daraus wurden folgende Resultate (Fig. 3) hergeleitet, jeweils unterteilt in die Lawinenkategorien «gross» (Anrissvolumen > 60'000 m^3), «mittel» und «klein» (Anrissvolumen < 25'000 m^3):

- Anrissgebiete von Lawinen mit Anriss im Wald, was dem Gefahrenpotenzial bei fehlendem Wald oder fehlender Waldwirkung entsprechen würde;
- Transit- und Auslaufbereiche von Lawinenanrissen im Wald;
- Anrissgebiete von Lawinen mit Anriss ausserhalb des Waldes, was ungefähr dem heutigen Gefahrenpotenzial entspricht;.
- Transit- und Auslaufbereiche von Lawinenanrissen ausserhalb des Waldes.

Murgänge

Die Murgang-Prozessflächen wurden mit dem Programmpaket MGSIM (Zimmermann et al. 1997) simuliert, welches aus vier Bestandteilen besteht:

- Reliefanalyse (Einzugsgebietsgrösse pro Pixel, Hangneigung, Exposition, Fliesswege);

- Abschätzung des Geschiebepotenzials und Analyse der Geschiebelieferung (Schuttproduktion, Matrix, Durchlässigkeit);
- Bestimmen von Murganganrissgebieten;
- Bestimmen der Murgangreichweite und der Ausbreitung von Murgängen auf dem Schwemmkegel.

Ausgehend von der Reliefanalyse sowie weiteren Grundlagendaten (geotechnische Eigenschaften wie Durchlässigkeit, Schuttproduktion und Matrix, ermittelt aus der neu klassierten geotechnischen Karte der Schweiz sowie Niederschlagsdaten) wurde das Geschiebepotenzial für jeden Punkt im Gerinne festgelegt. Aufgrund von empirischen Funktionen wurden die möglichen Murganganrisse in Abhängigkeit vom Geschiebepotenzial und der Grösse des Einzugsgebietes bestimmt. Mit dem Programm dfwalk (Gamma 2000) wurden daraufhin für sämtliche möglichen Murganganrisse die Reichweiten und die Ausbreitung modelliert und als Trajektorien abgelegt. Für den Prozess Murgang wurden ausschliesslich Murgänge im Gerinne modelliert. Murgänge im Hang (beispielsweise in alpinen Schutthalden) wurden als Hangmuren ausgeschieden und sind als Hangmurtrajektorien abgebildet.

Es wurden 6.7 Millionen Murgang-Trajektorien, die geschieberelevanten Flächen, das flächendeckende Gerinnenetz und die dazugehörenden Einzugsgebiete ermittelt. Jede Trajektorie steht für einen Murgang, vom Anrisspunkt bis zum äussersten Ablagerungspunkt (Fig. 4).

Schwemmholz liefernde Flächen

Das Modell berechnet jene Gebiete, aus welchen Holz entweder durch ein «Ereignis» oder über eine gewisse Strecke hinweg talwärts transportiert werden kann und in ein Gerinne gelangt.
Von jedem Geländepunkt aus, der unterhalb von 2000 m ü. M. (maximale Waldgrenze) liegt und der die notwendigen Rahmenbedingungen erfüllt (kritische Hangneigung, maximal anzunehmende Transportdistanz), wur-

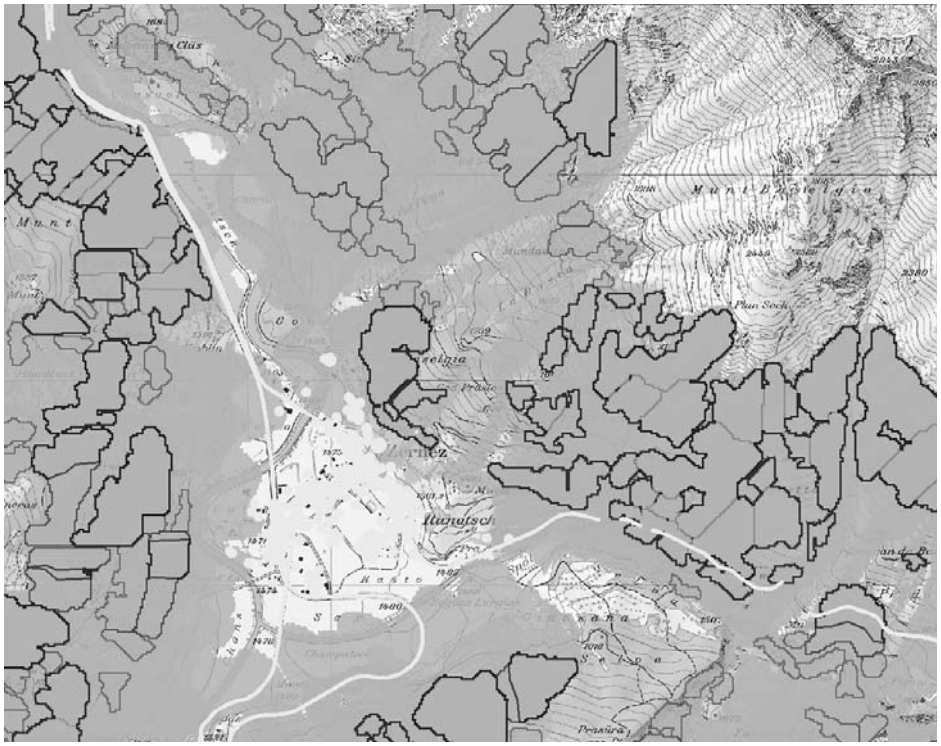


Fig. 3:
Gefahrenperimeter des Prozesses Lawine (hier Lawinen mit Anrissgebieten im Wald als Gefahrenpotenzial bei fehlendem Wald bzw. fehlender Waldwirkung). Umrandete Bereiche: Anrissgebiete; graue Flächen: gesamtes Wirkungsgebiet der Lawinen (Anriss-, Transit-, Ablagerungsbereich).

de eine Umlagerungsstrecke von Schwemmholz gerechnet, bis entweder die maximal vorgegebene Transportdistanz erreicht oder ein murfähiges Gerinne respektive eine potenzielle Überschwemmungsfläche mit einer hydrologischen Einzugsgebietsgrösse von mindestens 0.2 km^2 erreicht wurde.
420'000 Prozessflächen mit den entsprechenden Startpunkten der «Schwemmholzspuren» und mit Angabe des «Treffers» (Murganggerinne, Überschwemmungspuffer oder beides) konnten ermittelt werden.

Hydrologisch wirksame Flächen

Die Grundinformation, ob ein Wald eine Wirkung auf den Hochwasserabfluss hat, wird aus der Wegleitung «Nachhaltigkeit im Schutzwald» (NaiS, Frehner et al. 2005) entnommen, wo für jede Waldgesellschaft die waldbauliche Beeinflussbarkeit der Wasserrückhaltekapazität des Bodens bestimmt wurde. Somit lag das Ziel der Modellierung nicht bei der Hochwasserschutzwirkung an sich, sondern bei der Bestimmung der Waldgesellschaften. Es ging darum, aus einer (beschränkten) Anzahl von abiotischen Eingangsdaten die wahrscheinlichste Vegetationsgesellschaft zu bestimmen (nach Kienast et al. 1994, 1998). Neben den eigentlichen Pflanzenarten unterscheiden sich die verschiedenen Waldgesellschaften hauptsächlich in ihrer regionalen Verbreitung, in den Höhenstufen, der Exposition, Neigung, Klima und der Bodenbeschaffenheit (basierend auf der geotechnischen Karte und der Bodeneignungskarte der Schweiz). Diese Grössen wurden im GIS bestimmt und miteinander verknüpft.
Die Resultate sind ein flächendeckender 10 × 10 m-Raster mit den berechneten Waldgesellschaften (nach Ellenberg & Klötzli 1972, Frehner et al. 2005), ein flächendeckender 10 × 10 m-Raster mit den berechneten und gruppierten Waldgesellschaften (Zusammenfassung pflanzensoziologisch ähnlicher Gesellschaften und Gesellschaften mit gleicher Beeinflussbarkeit des Hochwasserabflusses) sowie ein flächendeckender 10 × 10 m-Raster mit den hydrologisch wirksamen Flächen, klassifiziert nach NaiS (Frehner et al. 2005).

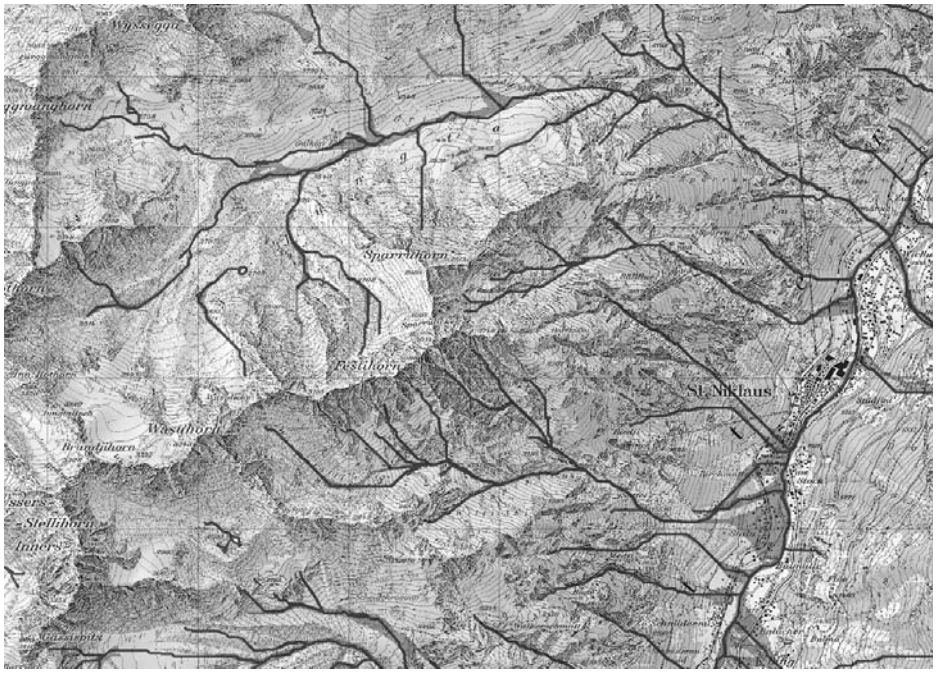


Fig. 4:
Gefahrenperimeter des Prozesses Murgang. Runsennetz (dunkelgrau) und Murgangablagerungsflächen auf den Schwemmkegeln (grau).

Modul DAMAGE

In diesem Modul ist das relevante Schadenpotenzial definiert und ermittelt worden. Das Schadenpotenzial wurde so umfassend wie möglich definiert, soweit dies die Verfügbarkeit der digitalen Daten zuliess. Dem Projekt standen alle Daten der Bundesämter für Landestopographie, für Umwelt und für Statistik zur Verfügung. Somit können verschiedene Fragestellungen bearbeitet werden (z. B. für die Frage «wie viele Strassenabschnitte sind von Sturzprozessen bedroht», oder «wie viele Häuser stehen im Bereich von Lawinenausläufen»).
Die Auswahl der Schadenpotenzialobjekte richtete sich an die geltende Gesetzgebung (Bundesgesetz über den Wald) und wurde in Projekt-Begleitgruppen diskutiert und verabschiedet. Ausschlaggebend für die Auswahl waren risikobasierte Überlegungen: hauptsächlich wurden jene Objekte gewählt, bei denen sich Menschen innerhalb oder ausserhalb davon aufhalten, sowie Objekte, bei denen im Ereignisfall Infrastruktur und/oder Versorgung bedroht sind oder hohe Sachschäden entstehen können:

- Strassennetz (Autobahnen, Autostrassen, Strassen 1., 2. und 3. Klasse mit Erschliessungsfunktion);
- Eisenbahnnetz (Personen- und Güterverkehr, Normal- und Schmalspurbahn, Industriegeleise);
- Gebäude (Wohngebäude ständig oder zeitweise bewohnt, Industrie- und Gewerbegebäude, Landwirtschaftsgebäude, öffentliche Gebäude);
- Anlagen (Druckleitungen, Staudämme und -mauern, Bahnhof- und Flughafenareale, Elektrizitätswerke, Gasleitungen etc.).

Modul INTERSECT

In diesem Modul wurden die Datensätze aus den Modulen SILVA, EVENT und DAMAGE in einem Datenmodell abgebildet. Zudem fand hier die Verknüpfung der Gefahrenperimeter mit dem Schadenpotenzial statt: Ausgehend von den Daten in EVENT und DAMAGE wurden die modellierten Trajektorien und Flächen auf ihre Schadenrelevanz hin überprüft (Verschnitt mit dem Schadenpotenzial) und danach zu schadenrelevanten Prozessflächen zusammengefasst (Fig. 5).

Modul SYNTHESE

Im fünften Modul wurden schliesslich die eigentlichen Resultate des Projektes erarbeitet. Dabei kamen zwei unterschiedliche Verfahren zur Anwendung:

- durch den Verschnitt der schadenrelevanten Prozessflächen mit der heutigen Waldfläche (SILVA) wurde der **Schutzwaldindex** berechnet (schadenrelevante Prozessflächen im Wald, Fig. 6);
- durch den Verschnitt der Prozessflächen mit den Schadenpotenzialobjekten (DAMAGE) wurde der **Schadenpotenzialindex** berechnet (von Gefahrenprozessen betroffene Schadenpotenzialflächen, Fig. 7).

2.2 Schutzwaldindex

Der Schutzwaldindex ist definiert als der prozentuale Anteil der in SilvaProtect-CH hergeleiteten, schadenrelevanten Prozessflächen im Wald pro Kanton (Fig. 6), bezogen auf die gesamtschweizerisch berechneten, schadenrelevanten Waldflächen. Dabei werden die einzelnen Prozesse nach folgenden Kriterien gewichtet:

- die Vielfalt der Schutzfunktionen muss abgebildet werden;
- gut abgebildete Prozesse werden stärker bewertet;
- so einfach und transparent wie möglich;
- überlagernde Flächen werden nicht doppelt gerechnet; es zählt die stärker gewichtete Fläche.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde die Gewichtung der Prozesse wie folgt festgelegt: Lawine (Faktor 1), Sturzprozesse (Faktor 1),

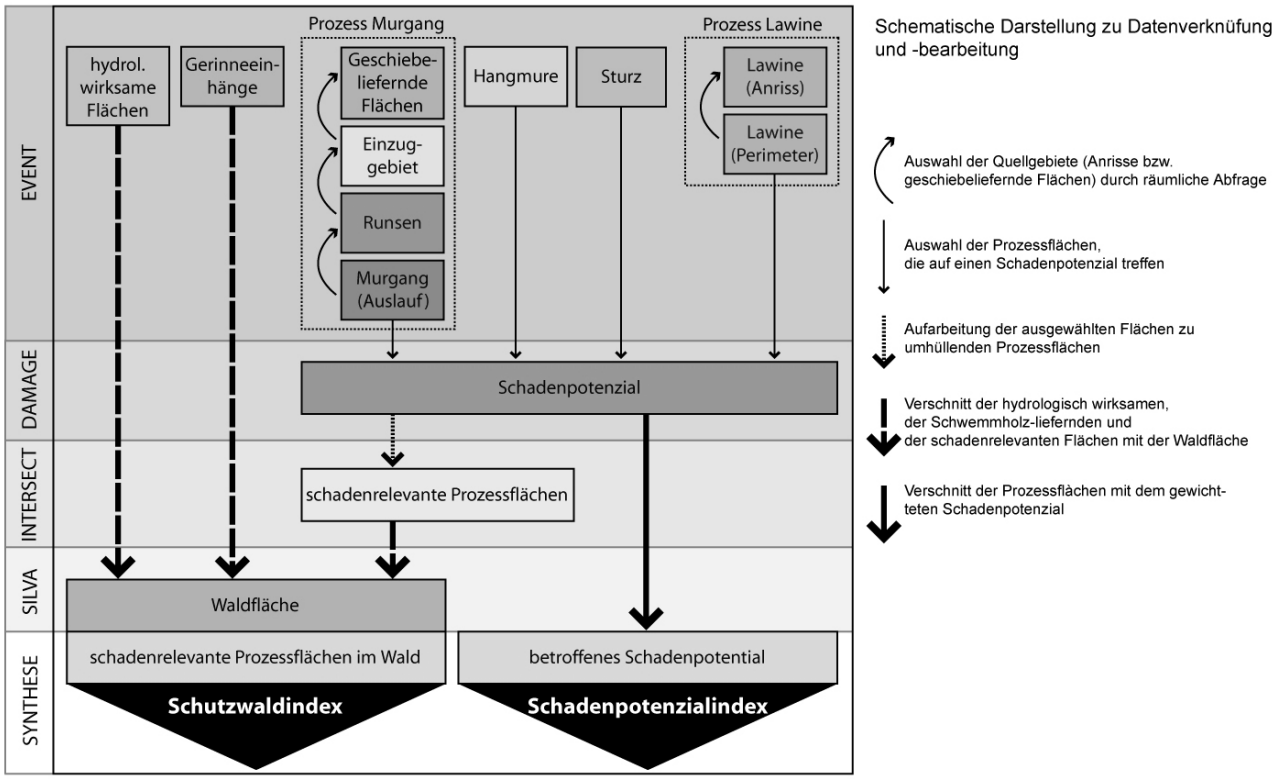


Fig. 5: Schematische Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte in SilvaProtect-CH und der Datenverknüpfung/-bearbeitung im Modul INTERSECT.

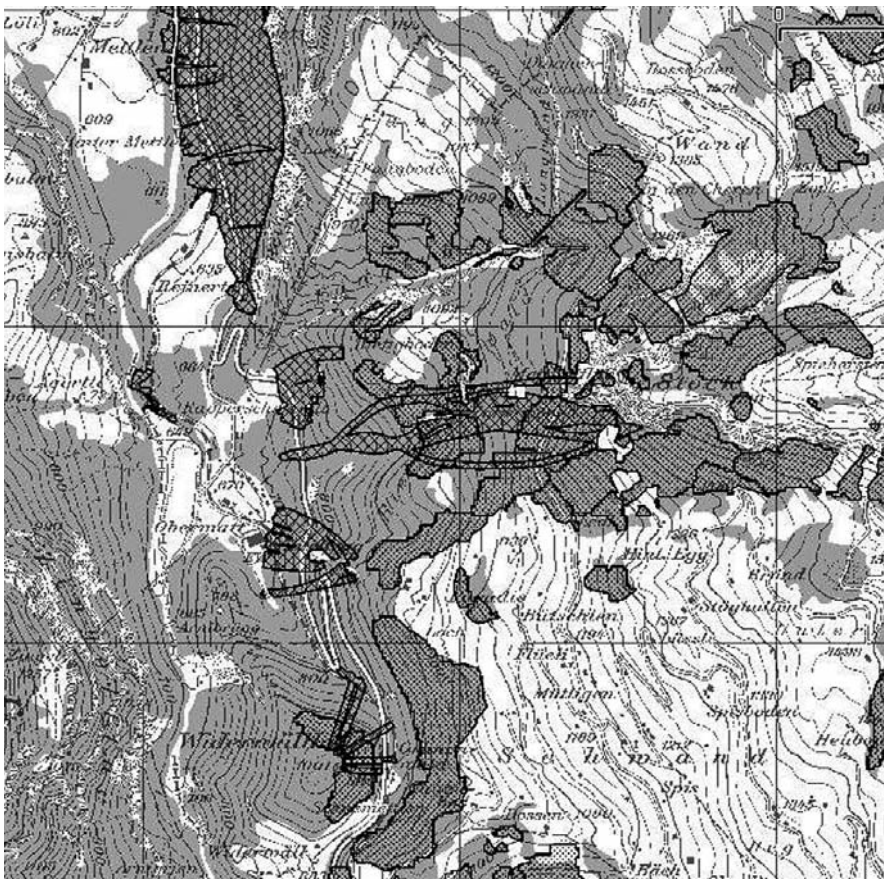


Fig. 6:
Schadenrelevante Flächen im Wald (grau) für die Prozesse Lawine (Punktraster) und Sturz (kreuzschraffiert). Diese Flächen dienen – zusammen mit den Flächen der Prozesse Hangmure, Murgang sowie den Schwemmholz liefernden Flächen und den hydrologisch wirksamen Flächen – der Berechnung des Schutzwaldindexes.

Murgang (Faktor 0.8), Hangmure/spontane Rutschung (Faktor 0.5), Schwemmholz liefernde Flächen (Faktor 0.5), hydrologisch wirksame Flächen (Faktor 0.2).

Die Berechnung des Schutzwaldindexes zeigt, dass 70% der schadenrelevanten Prozessflächen im Schweizer Wald auf vier Kantone entfallen, nämlich Graubünden (21.2%), Wallis (18.3%), Tessin (17.5%) und Bern (12.3%). Sechs weitere Kantone (VD, SG, UR, SZ, GL, OW) tragen weitere 20% des Schutzwaldindexes bei. Die 16 restlichen Kantone vereinen lediglich rund 10% der schadenrelevanten Prozessflächen im Schweizer Wald.

2.3 Schadenpotenzialindex

Der Schadenpotenzialindex ist definiert als der prozentuale Anteil der in SilvaProtect-CH hergeleiteten, durch Gefahrenprozesse betroffenen Schadenpotenzialflächen pro Kanton (Fig. 7), bezogen auf die gesamtschweizerisch berechneten, von Gefahrenprozessen betroffenen Schadenpotenzialflächen.
Für die Berechnung des Schadenpotenzialindexes wurden nur jene Prozesse berücksichtigt, die einen direkten Bezug zum Schadenpotenzial haben (Lawine, Murgang, Hangmure/spontane Rutschung und Sturzprozesse). Ferner wurden beim Prozess Lawine nur jene Lawinen verwendet, die ausserhalb der heutigen Waldfläche anreissen, was mehr oder weniger dem heutigen Gefahrenpotenzial entspricht.
Die für die Berechnung des Schadenpotenzialindexes im Modul DAMAGE definierten Objekte wurden wie folgt gruppiert und gewichtet:

- Gruppe 1: Dauernde oder nahezu dauernde Präsenz von Menschen → Gewichtung (Faktor) 1;
- Gruppe 2: Zeitweiser Aufenthalt von Menschen bei hoher Präsenzwahrscheinlichkeit → Gewichtung (Faktor) 0.5;
- Gruppe 3: Zeitweiser Aufenthalt von Menschen bei niedriger Präsenzwahrscheinlichkeit → Gewichtung (Faktor) 0.3;
- Gruppe 4: Objekte mit Versorgungsstörungen und/oder hohen Sachschäden → Gewichtung (Faktor) 0.1;
- Gruppe 5: Restliche Objekte → nicht berücksichtigt.

Da das für die Berechnung der Hangmuren verwendete Modell nicht – wie bei den anderen Prozessen – die eigentlichen Prozessräume darstellt, sondern eine allgemeine Disposition abbildet, wurden zwei Versionen des Schadenpotenzialindexes berechnet: eine mit, die andere ohne Hangmuren.

Die Berechnung des Schadenpotenzialindexes zeigt 75% der gesamtschweizerischen Schadenpotenzialflächen (ohne Berücksichtigung der Hangmuren) in den Kantonen Wallis (28.6%), Graubünden (20.1%), Tessin (14.9%) und Bern (11.3%). 75% von den durch Gefahrenprozesse bedrohten Schadenpotenziale liegen in diesen vier Kantonen. Auf die Kantone UR, VD, SG, GL, SZ und OW entfallen weitere knapp 20% der Schadenpotenzialflächen, während die restlichen 16 Kantone lediglich noch etwas mehr als 5% umfassen.
Werden die Hangmuren mitberücksichtigt, so reduziert sich der Anteil des Schadenpotenzialindexes der Bergkantone VS, GR, TI, BE, UR, VD, SG, GL, SZ und OW auf etwas mehr als 75%. Dagegen nehmen die Anteile ausseralpiner Kantone zu. Das hat damit zu tun, dass sich in den Voralpen, im Jura und auch im Mittelland vermehrt Schadenpotenziale im Wirkungsbereich von ausreichend steilen Hängen mit einer Disposition zur Entstehung von Hangmuren befinden.

3. Phase II: Harmonisierte Kriterien zur Schutzwaldausscheidung

Basierend auf den Resultaten der ersten Projektphase wurden in Phase II harmonisierte Kriterien für die kantonalen Schutzwaldausscheidung erarbeitet. Ziel dieser Phase ist es, dass jeder Kanton einen ausgeschiedenen Schutzwaldperimeter hat, der in der forstlichen Planung verankert wird.
Das Ziel soll in zwei Etappen erreicht werden:

Etappe 1

In einer ersten Etappe wurden in Zusammenarbeit mit den Kantonen die Grundlagen für die Erarbeitung der harmonisierten Kriterien zusammengetragen. Dabei wurden anhand von Beispiel-Perimetern die in Phase I modellierten, schadenrelevanten Prozessflächen im Wald mit der aktuellen Schutzwaldausscheidung der einzelnen Kantone verglichen. Die Übereinstimmung war zufriedenstellend. Es gab aber auch zahlreiche Abweichungen welche aufzeigten, wo die Schwerpunkte auf dem Weg zu harmonisierten Kriterien zur Schutzwaldausscheidung zu setzen sind, nämlich: a) bei der Definition des Schutzwaldes, b) bei der Abgrenzung des Schutzwaldes gemäss Bundeskriterien (Gefahrenpotenzial, Schadenpotenzial, Arrondierung) und c) bei der Umsetzung der harmonisierten Kriterien in den Kantonen.

Etappe 2

Basierend auf den oben erwähnten Schwerpunkten erarbeitete eine Projekt-Begleitgruppe, zusammengesetzt aus Bundes- und Kantonsvertretern, einen Vorschlag für die harmonisierten Kriterien zur Schutzwaldausscheidung. Dieser Vorschlag wurde vorerst den Kantonen zur Konsultation zugestellt. Danach verabschiedete die Direktion

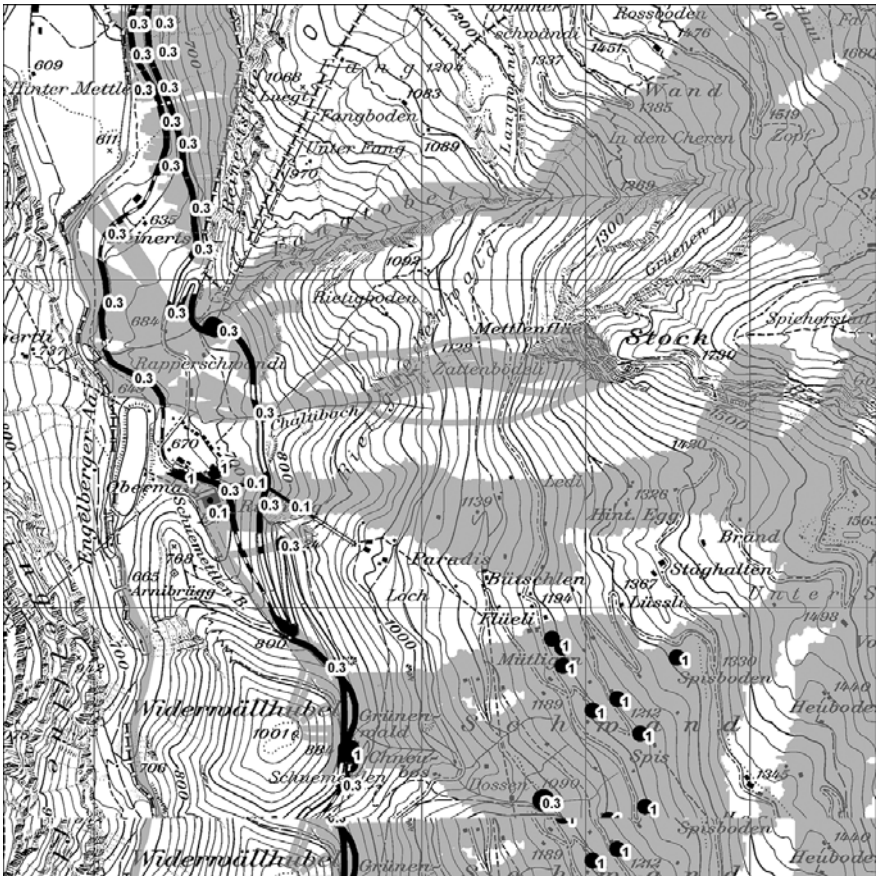


Fig. 7:
Schadenpotenzialflächen, die von den Prozessen Lawine, Sturz, und Murgang (als Umhüllende grau dargestellt) betroffen sind. In schwarz sind die einzelnen Schadenpotenzialobjekte und deren Gewichtung (siehe Text) dargestellt.

des BAFU die harmonisierten Kriterien. Die Kantone sollen ihre Schutzwaldausscheidungen nun gemäss den neuen Kriterien bis Ende 2010 überprüfen und allenfalls ergänzen respektive revidieren. Ab 2012 dürfen die Bundesmittel nur noch in den Schutzwaldperimetern nach Bundeskriterien eingesetzt werden.

4. Ausblick

Die in der ersten Projektphase erarbeitete Datenbasis bietet eine einmalige Gelegenheit, auf nationaler Ebene Auswertungen und Szenarien zum Thema Naturgefahren und Schutzwald durchzuführen. Bei Änderungen in den einzelnen Modulen (Änderung des Schadenpotenzials, neue Prozessmodellierungen etc.) können Schutzwaldindex, Schadenpotenzialindex und die verschiedenen Szenarien mit einem relativ geringen Aufwand neu berechnet werden. Zudem stehen die Daten den Kantonen für eigene Auswertungen zur Verfügung.

Mit den vorgeschlagenen Kriterien aus Phase II dürften über 90% der aktuell ausgeschiedenen Schutzwälder bereits jetzt abgedeckt sein, sprich innerhalb des «Schutzwaldes gemäss Bundeskriterien» liegen. Bei einigen Schutzwäldern wird es noch zusätzlichen Erklärungsbedarf geben (z. B. im Sinne des Nachweises des Gefahrenpotenzials, siehe oben), welcher aber in der Regel ohne grossen zusätzlichen Aufwand von Seiten Kanton geleistet werden kann. Einige wenige Perimeter werden schliesslich im «Schutzwald gemäss Bundeskriterien» nicht Platz finden, könnten aber z. B. als kantonaler Schutzwald geführt werden (ohne finanzielle Unterstützung durch den Bund für dessen Pflege).

Referenzen

Bartelt, P., Salm, B. & Gruber, U. (1999): Calculating dense-snow runout using a Voellmy-fluid model with active/passive longitudinal straining. Journal of Glaciology, 45(150): 242-254.

Ellenberg, H. und Klötzli, F. (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. 48.

Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R. (2005): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwal NaiS. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.

Gamma, P. (2000): dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung. Geographica Bernensia G66, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.

Kienast, F., Brzeziecki, B. & Wildi, O. (1994): Computergestützte Simulation der räumlichen Verteilung naturnaher Waldgesellschaften in der Schweiz. - SZF 145 (1994) S. 293-309.

Kienast, F., Wildi, O., Brzeziecki, B., Zimmermann, N. & Lemm, R. (1998): Klimaänderung und mögliche langfristige Auswirkungen auf die Vegetation der Schweiz. Schlussbericht NFP31. vdf Hochschul- Verlag an der ETH Zürich. 71 S.

Liener, S. (2000): Zur Feststofflieferung in Wildbächen. Dissertation, Geographica Bernensia G64, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.

Zimmermann, M., Mani, P. & Gamma, P. (1997): Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. Vdf Verlag, Zürich.

Zinggeler, A. (1990): Steinschlagsimulation in Gebirgswäldern. Modellierung der relevanten Teilprozesse. Diplomarbeit (nicht publiziert), Geographisches Institut der Universität Bern.