

SIMULATION VON GEFAHRENHINWEISFLÄCHEN ALS GRUNDLAGE ZUR SCHUTZWALDAUSSCHIEDUNG IN DER SCHWEIZ

SIMULATION OF POTENTIAL HAZARD AREAS TO DETERMINE PROTECTION FOREST IN SWITZERLAND

Serena Liener¹, Robert Pfeifer², Marzio Giamboni³

ZUSAMMENFASSUNG

Viele Bergwälder stellen für Menschen und Siedlungen einen wirksamen Schutz vor Naturgefahren dar. Mit dem Ziel, eine optimale Schutzwirkung aufrecht zu erhalten, werden die Schutzwälder meist durch die öffentliche Hand subventioniert. Um einen effizienten Einsatz der Geldmittel zu ermöglichen ist es zunächst notwendig, eine landesweit vergleichbare Definition der Schutzwaldflächen zu haben. Hierzu hat das Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention das Projekt SilvaProtect-CH initiiert. Das Projekt hat zwei Hauptziele. Einerseits soll ein landesweit gültiger, objektiver Verteilschlüssel für die Subventionsgelder erarbeitet und andererseits Grundlagen für eine standardisierte, nachhaltige Ausscheidung der Schutzwaldflächen bereitgestellt werden. SilvaProtect-CH besteht aus fünf Modulen. Im Modul EVENT werden die Naturgefahren mit verschiedenen Simulationsmodellen landesweit modelliert. Dieses Paper beschreibt die Ausscheidung der Prozessräume Stein-/Blockschlag, Hangmure / spontane Rutschung sowie Murgang sowie die Vorarbeiten zur Schutzwaldausscheidung.

Keywords: Simulationsmodell, Schutzwald, Gefahrenhinweiskarte, Steinschlag, Hangmuren, Murgang

ABSTRACT

Many mountain forests effectively protect people and assets against natural hazards. In order to provide a most favorable protective effect, these forests are mostly managed by means of public funds. For an efficient application of these funds, the spatial definition of protective forests first needs to be comparable on a national level. For this purpose, the Federal Office for the Environment FOEN launched the project SilvaProtect-CH. The project has two major aims, namely (i) to provide an objective nationwide distribution frame for the distribution of

1 Geo7 AG, Geowissenschaftliches Büro, Neufeldstrasse 5, CH-3012 Bern, Switzerland,
email: serena.liener@geo7.ch

2 Geotest AG, Birkenstrasse 15, CH-3052 Zollikofen, Switzerland,
email: robert.pfeifer@geotest.ch

3 Federal Office for the Environment FOEN, Hazard Prevention Division, CH-3003 Berne,
email: marzio.giamboni@bafu.admin.ch

public funds and (ii) to supply basics for a standardized segregation of protective forests in the long-term. SilvaProtect-CH is organized in five modules. In the EVENT module, different natural hazards such as snow avalanches, rockfall, shallow landslides and debris flow were modeled nationwide, using different simulation models. The following paper describes how the potential hazard areas for rockfall, shallow landslides and debris flows have been assessed and how they are prepared for the intersection with the damage potential.

Keywords: Simulation model, protection forest, hazard index map, rockfall, shallow landslide, debris flow

AUSGANGSLAGE

Die bis heute vorliegenden kantonalen Schutzwaldausscheidungen zeigen ein weites Spektrum der angewandten Verfahren mit kantonal stark unterschiedlichen Schutzwaldperimetern. Zusammen mit den Kantonen wurde deshalb beschlossen, dass der Bund Grundlagen für die Vereinheitlichung der kantonalen Schutzwaldausscheidung ausarbeiten soll. Die Verteilung der Subventionen für die Schutzwaldpflege soll auf objektiven Kriterien basieren, u.a. auf dem Schutzwaldindex (schadenrelevante Prozessflächen im Wald).

DAS PROJEKT SILVAPROTECT-CH

Das Gesamtprojekt für die Schutzwaldhinweiskarte der Schweiz trägt die Bezeichnung SilvaProtect-CH und ist in 5 Teilmodule (SILVA, DAMAGE, EVENT, INTERSECT, SYNTHESE) unterteilt. Die Bearbeitung des Moduls EVENT beinhaltet die Modellierung der Prozessräume und ist die zentrale Basis für die Bestimmung des Schutzwaldindex. Dieses Paper beschreibt das Vorgehen und die Resultate des Moduls EVENT, in welchem u.a. die Prozesse Stein-/Blockschlag, Hangmure/Rutschung sowie Murgang bearbeitet wurden. Im Rahmen des Projekts SilvaProtect-CH wurden alle Prozessräume nicht als Flächen, sondern in Form der modellierten Prozessstrajektorien abgelegt. Der Verschnitt (im Modul INTERSECT) der Prozessstrajektorien mit dem Schadenpotenzial (Aufbereitung im Modul DAMAGE), ergibt die schadenrelevanten Trajektorien, aus welchen wiederum die schadenrelevanten Waldflächen (Aufbereitung Wald im Modul SILVA) bestimmt werden können. Der modulare Aufbau von SilvaProtect-CH mit definierten Modul-Schnittstellen ermöglicht sowohl die schnelle Neuberechnung der Schutzwaldindizes nach allfälligen Änderungen in den Teilmodulen (v.a. Waldflächen, Schadenpotenziale) als auch effiziente Szenarienstudien.

VORGEHEN

Die für SilvaProtect-CH eingesetzten Simulationsmodelle sind bewährte 3D-Modelle, welche von den bearbeitenden Büros seit Jahren in verschiedenen Projekten eingesetzt wurden: Nebst detaillierten Gefahrenstudien zur Hauptsache für die Erarbeitung der kantonalen Gefahrenhinweiskarten im Massstab 1:25'000 (teilweise mit Ausscheidung von Schutzwald). So z.B. für die Gefahrenhinweiskarten der Kantone Bern, Luzern, Solothurn, Zug, Basel- Landschaft und Aargau.

Nach Prozessen gegliedert wurden folgende Modelle eingesetzt:

- **Stein-/Blockschlag:** Die Trajektorien sind mit dem 3D-Steinschlagmodell Geotest+Zinggeler (Liniger 2000) berechnet. Innerhalb der definierten Ausbruchzonen werden Startpunkte mit einem gegenseitigen Abstand von 20m generiert. Ausgehend von diesen Punkten wird der Sturz eines Blockes als Abfolge von Kontaktreaktionen des Blockes mit dem Untergrund, Flugparabeln sowie von Rollprozessen modelliert.
- **Hangmuren/Rutschungen:** Die Modellierung des Prozesses Hangmure ist zweiteilig. Zuerst werden mit dem Modell SliDisp (Liener 2000) die Anrissflächen modelliert. Anschliessend werden mit dem Modell SlideSim die Transit- und Auslaufbereiche berechnet.
- **Murgang:** Die Murgang-Trajektorien wurden mit dem Programmpaket MGSIM/dfwalk simuliert (Gamma 2000), welches in einem ersten Schritt die Murganganrissgebiete bestimmt ausgehend von den Anrissen werden anschliessend die Reichweiten und die Ausbreitung modelliert.

Damit die Modellierungsergebnisse für die ganze Schweiz vergleichbar sind, wurden als Modell-Input ausschliesslich schweizweit verfügbare, einheitliche digitale Datengrundlagen verwendet. Die wichtigste digitale Grundlage bildet das Höhenmodell DHM25/10. Für das DHM25/10 wurde die Höheninformation der Schweizer Landeskarte 1:25'000, LK25 (Hauptbruchkanten, Höhenkurven sowie in einem 25m-Raster angeordnete Höhenpunkte) zu einem 10m-Grid verrechnet.

Für die Hangmuren/ Rutschungen sowie die Murgänge bildet der geologische Untergrund eine zentrale Inputgrösse. Hierzu wurde, mangels detaillierter Alternativen (Geologische Atlasblätter 1:25'000 sind nicht flächendeckend und zudem nur wenige Blätter digital vorhanden), die neue Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000 der Schweizerischen Geotechnischen Kommission SGTK verwendet. Die Modelle wurden zuerst in ausgewählten Testgebieten mit den teilweise generalisierten Inputdaten angewandt und anschliessend aufgrund der Resultate mit angepassten Modellparametern die ganze Schweiz bearbeitet.

RESULTIERENDE PROZESSTRAJEKTORIEN

Prozess Steinschlag

In Abb. 1 sind die Steinschlagtrajektorien im Pilotgebiet im Raum Thunersee dargestellt. Die Umhüllende aller Trajektorien bildet den möglichen Prozessraum Stein-/Blockschlag ab. Qualitativ gute Modellierungsergebnisse können dann erzielt werden, wenn einerseits die potenziellen Ausbruchzonen genau erfasst werden und andererseits die Geländeparameter (Dämpfung Untergrund, Geländerauhigkeit) differenziert kartiert werden.

Für SilvaProtect-CH sind die Ausbruchzonen mit der Verwendung der 'Felsmasken' (Abmaskierung des Reliefons über der Felszeichnung auf der LK25) und einem gegenseitigen Abstand der Startpunkte von 20m gut abgebildet. Für die Geländeparameter werden jedoch (analog den kantonalen Hinweiskarten) lediglich standardisierte, eher pessimistische Modellparameter eingesetzt. Dadurch zeigen die ermittelten Prozessräume, welche Gebiete bei ungünstigen Voraussetzungen betroffen sein könnten.

Die modellierten Trajektorien können zudem kleinräumige Situationen bezüglich der Topographie (DHM) nicht abbilden. Schutzbauten wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden grössere Geländeschüttungen (Schutzdämme), welche sich morphologisch im DHM25/10 abzeichnen.

Die Daten sollten deshalb auf Stufe Gefahrenhinweis verwendet werden, was einem Arbeitsbereich bis zum Massstab 1:25'000 entspricht.

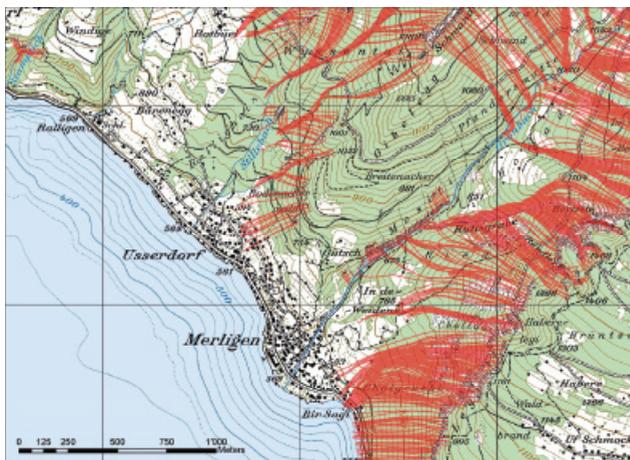


Abb. 1: Steinschlagtrajektorien (rot) im Pilotgebiet (Beispiel Merligen am Thunersee)

Fig. 1: rockfalltrajectories (red) in the testarea (lake of Thun)

Prozess Hangmuren

In Abb. 2 sind die Hangmurentrajektorien im Pilotgebiet im Raum Thunersee dargestellt. Die Hangmurentrajektorien bilden in ihrer Gesamtheit den möglichen Prozessraum Hangmuren ab.

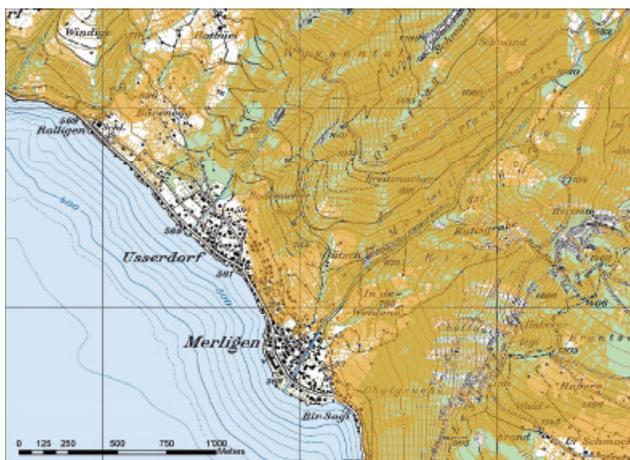


Abb. 2: Hangmurentrajektorien (braun) im Pilotgebiet (Beispiel Merligen am Thunersee)

Fig. 2: trajectories of shallow landslides (brown) in the testarea (lake of Thun)

Die Teilprozesse, welche zur Auslösung einer spontanen Rutschung oder einer Hangmure führen sind einerseits komplex und andererseits ist die räumliche Variabilität der zugrunde liegenden Einflussfaktoren sehr hoch: So kann z.B. der Aufbau und die Mächtigkeit des Lo-

ckermaterials lokal recht stark variieren. Bei der Kohäsion des Lockermaterials kommt eine hohe zeitliche Variabilität hinzu.

Die schweizweit verfügbaren einheitlichen Datengrundlagen zeigen massstabsbedingt eine starke Generalisierung und können daher dieser Variabilität nicht genügend Rechnung tragen.

Für SilvaProtect-CH müssen somit räumlich wenig differenzierte, standardisierte Modellparameter eingesetzt. Die modellierten Trajektorien können deshalb kleinräumige Situationen bezüglich Geologie und Hydrologie sowie auch Topographie (DHM) nicht abbilden.

Schutzbauten wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden grössere Geländeschüttungen, wie z.B. Schutzwälle, Schutzdämme, Ufermauern und ähnliche, welche sich morphologisch im DHM25/10 abzeichnen.

Die Modellierung der Hangmuren ergibt generell ein sehr pessimistisches Bild bei ungünstigen Voraussetzungen. Effektive Hangmurenereignisse betreffen nur einen geringen Flächenanteil der modellierten Prozessfläche. Zudem können die Auslaufzonen bei Hangmuren und insbesondere bei spontanen Lockermaterialrutschungen oft kürzer sein als die modellierten Trajektorien.

Die Daten genügen deshalb lediglich einer generalisierten Gefahrenhinweisstufe, was einem Arbeitsbereich bis zum Massstab 1:50'000 entspricht.

Prozess Murgang

In Abb. 3 sind die Murgangtrajektorien im Pilotgebiet im Raum Thunersee dargestellt. Die Murgangtrajektorien bilden in ihrer Gesamtheit den möglichen Prozessraum Murgang ab.

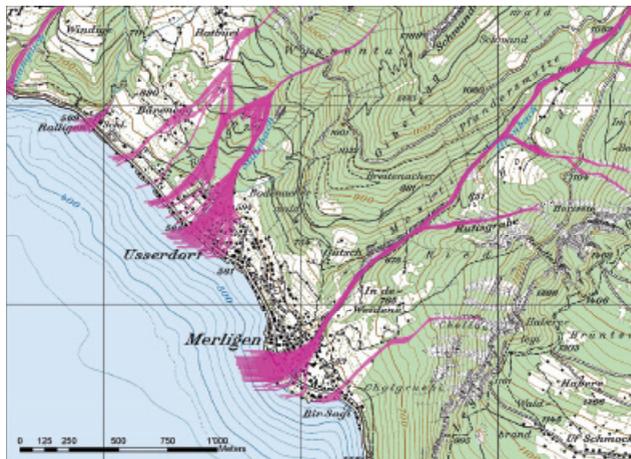


Abb. 3: Murgangtrajektorien (pink) im Pilotgebiet (Beispiel Merligen am Thunersee)

Fig. 3: trajectories of debris flows (magenta) in the testarea (lake of Thun)

Es wurden ausschliesslich Murgänge im Gerinne modelliert. Murgänge im Hang (beispielsweise in alpinen Schutthalden) wurden als Hangmuren ausgeschieden und sind als Hangmurentrajektorien abgelegt. Andere geschiefbeführende Prozesse im Gerinne (Geschiebetransport, Erosion, Übersarung) wurden nicht berechnet und sind im Prozessraum Murgang nicht enthalten.

Für SilvaProtect-CH werden standardisierte Modellparameter eingesetzt. Die modellierten Trajektorien können deshalb kleinräumige Situationen bezüglich Topographie (DHM), Geolo-

gie und Hydrologie nicht abbilden. Schutzbauten wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden grössere Geländeschüttungen, wie z.B. Schutzwälle, Schutzdämme, Ufermauern und ähnliche, welche sich morphologisch im DHM25/10 abzeichnen. Dadurch zeigen die ermittelten Prozessräume, welche Gebiete bei ungünstigen Voraussetzungen betroffen sein könnten. Die Daten sollten deshalb auf Stufe Gefahrenhinweis verwendet werden, was einem Arbeitsbereich bis zum Massstab 1:25'000 entspricht.

DIGITALE DATEN

Die Modellresultate werden in einem Datenmodell beschrieben und in einer Geodatenbank unter ArcSDE abgelegt. In diese Datenbank werden alle Informationen der verschiedenen Module integriert. Sie bildet die Grundlage für die Anwendungsapplikation. Die Datenbank beinhaltet die folgenden Prozessrajektorien als Endprodukte:

Tab. 1: Anzahl abgespeicherte Prozessrajektorien

Tab. 1: number of trajectories

Prozess	Anzahl Elemente
Stein-/Blockschlag	9.3 Mio. Sturz-Trajektorien
Hangmure/spontane Rutschungen	47.6 Mio Hangmuren-Trajektorien
Murgang	6.7 Mio Murgang-Trajektorien

Zusätzlich wurden für die gesamte Schweiz die massgebenden Runsen und Gerinne sowie die zugehörigen Einzugsgebiete bestimmt. Alle berechneten Einzugsgebiete werden als Polygone abgespeichert. Sie dienen zusammen mit den Runsen als Grundlage um eine Beziehung zwischen Murgangrajektorien und den geschiebeliefernden Flächen herzustellen.

Alle Runsen und Gerinneabschnitte werden als Polylinien in einem gerichteten Geometric Network abgelegt. Damit lassen sich 'Oberhalb-' und 'Unterhalb'-Suchabfragen einfach und schnell durchführen. Zusätzlich werden zu den geometrischen Attributen auch noch die Höhendifferenz und ein Parameter für den Geschiebetransport eingefügt. Da die Elemente im Geometric-Network (ArcGIS) verwaltet werden, ist es möglich dass zusätzliche Attribute für Auswertungen eingefügt werden. Diese können als Abbruch- oder Filterkriterien in den Auswertungen des Modules INTERSECT benutzt werden. Gleichzeitig wird eine direkte Beziehung 1 zu 1 zwischen der Runse und dem Einzugsgebiet aufgebaut.

SCHUTZWALDAUSSCHIEDUNG

Nachfolgend werden das Prinzip des Datenmodells und der Auswertungsapplikation schematisch erläutert.

Im Modul EVENT wird zwischen zwei Prozessgruppen unterschieden:

- Prozesse, bei denen die räumlichen Zusammenhänge durch die Prozess-Trajektorien oder Polygone und der daraus gebildeten Flächen bestimmt werden (Stein/ Blockschlag, Hangmuren).
- Prozesse, bei denen die räumlichen Zusammenhänge durch die Runsen-/Gerinnestruktur bestimmt werden (Murgang, Schwemholz, Hydrologie allgemein). Beim Murgangprozess werden die Prozess-Trajektorien mitberücksichtigt.

Um eine maximale Auswertungsflexibilität zu erreichen, werden die Prozessräume nicht als Flächen (Polygone) abgelegt, sondern als Prozessstrajektorien. Somit kann der relevante Prozessraum und die zugehörigen Schutzwaldflächen jederzeit mit einem beliebigen Schadenpotenzial ausgeschieden werden, ohne dass eine neue Prozess-Simulation notwendig ist. Der Vorteil dabei ist, dass verschiedene Schadenpotenzial-Szenarien durchgespielt werden können. Im Modul INTERSECT werden die Prozessräume nach prozessspezifischen Kriterien mit dem Schadenpotenzial und dem Wald überlagert und der massgebende Schutzwald ausgeschieden. Nachfolgend wird das Auswertungsprinzip für die zwei genannten Prozessgruppen erläutert.

Ausscheidung von Schutzwald für Steinschlag

Die Sturzbahnen von Stein- und Blockschlägen können im Modul INTERSECT beliebig oft mit verschiedenen Schadenpotenzials-Varianten überlagert werden.

Abb. 4 zeigt an einem Beispiel im Emmental die aus dem Modul EVENT resultierenden Steinschlagtrajektorien (rot). Für die Ausscheidung des Schutzwaldes sind sie nur dann relevant, wenn sie ein Schadenpotenzial, wie beispielsweise die Eisenbahnlinie (gelb) im Talboden treffen können.

Diejenigen Sturzbahnen, welche die Eisenbahnlinie treffen, werden in einem ersten Schritt durch eine Überlagerung der Trajektorien mit dem Schadenpotenzial ausgewählt (fett rot dargestellt). Sie werden als schadenpotenzialrelevante Steinschlagtrajektorien bezeichnet. Das Schadenpotenzial kann je nach Fragestellung beliebig ausgewählt werden.

Im nächsten Schritt wird um die ausgewählten Sturzbahnen eine Pufferzone gelegt, um den massgebenden Prozessraum abzugrenzen. Die Pufferbreite sollte der Auflösung der Startpunkte entsprechen.



Abb. 4: Steinschlagtrajektorien (rot) und Schadenpotenzial (Eisenbahn, gelb dargestellt) sowie schadenpotenzialrelevante Steinschlagtrajektorien (fett rot)

Fig. 4: rockfall trajectories (red) and damage potential (railway: yellow), the rockfall trajectories, which hit the railway: red bold

Die gepufferten Sturzbahnen bilden den gesamten schadenpotenzialrelevanten Prozessraum (hellblau in Abb. 5) ab und können in einem nächsten Schritt zu einheitlichen Flächen zusammengefasst werden.

Der gesamte schadenpotenzialrelevante Prozessraum kann anschliessend mit der Waldfläche (grün) überlagert werden. Diejenigen Flächen, in welchen sich der Prozessraum mit dem Wald

überschneidet, werden als Schutzwald ausgeschieden (braun in Abb. 6). Die Waldfläche kann je nach Fragestellung beliebig verändert resp. ausgewählt werden.

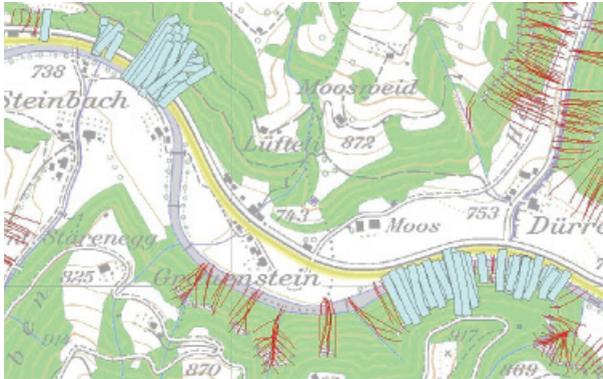


Abb. 5: Schadenpotenzialrelevante Steinschlagtrajektorien mit Pufferzone (hellblau)
Fig. 5: rockfall trajectories, which hit the railway will be buffered (light blue)



Abb. 6: Schutzwald für Stein-/Blockschlag (braun)
Fig. 6: protective forests against rockfall (brown)

Für Hangmuren erfolgt die Schutzwaldausscheidung analog zum Prozess Stein-/Blockschlag.

Ausscheidung von Schutzwald für Murgänge

Beim Murgang übt der Wald seine Schutzwirkung hauptsächlich im Bereich der Geschiebelieferung aus. Die Verknüpfung zwischen dem Schadenpotenzial und dem Schutzwald erfolgt für die massgebenden Einzugsgebiete über die einzelnen Murgangtrajektorien. Deshalb kann die Schutzwaldausscheidung nicht nur durch eine Überlagerung von Prozessraum und Wald erfolgen (wie beim Stein-/Blockschlag und den Hangmuren) sondern basiert auf zusätzlichen Grundlagen:

Die geschieberelevante Fläche (Abb. 7) umfasst diejenigen Bereiche, welche für die Geschiebelieferung bei Murgängen massgebend sind und in welchen der Wald die grösste

Schutzwirkung aufweist. Die Verknüpfung zwischen der geschieberelevanten Fläche und dem Schadenpotenzial erfolgt einerseits über die Murgangtrajektorien und andererseits über die Einzugsgebiete und die Runsenstruktur.

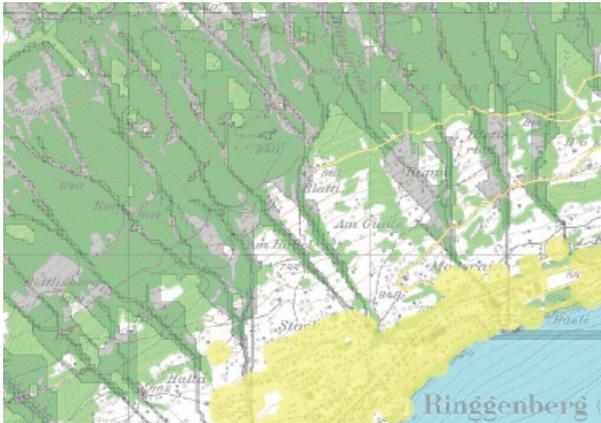


Abb. 7: Geschieberelevante Fläche (grau) für Wildbäche im Raum Ringgenberg (gelb: Schadenpotenzial)

Fig. 7: area which distributes the debris for debris flows in the area of Ringgenberg (yellow: damage potential)

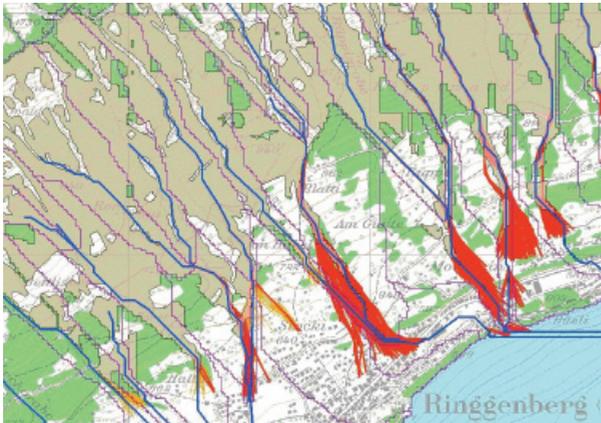


Abb. 8: Schutzwaldausscheidung (braun)

Fig. 8: protective forests against debris flow initiation (brown)

Grundsätzlich werden die Einzugsgebietsflächen mit der geschieberelevanten Fläche überlagert und verschnitten. Für das betroffene Schadenpotenzial relevant sind die geschieberelevanten Flächen innerhalb der massgebenden Einzugsgebiete. Die ausgewählten geschieberelevanten Flächen werden mit dem Wald verschnitten und dadurch wird der Schutzwald ausgeschieden (vgl. Abb. 8).

Die Schutzwaldausscheidung kann je nach Fragestellung mit beliebigem Schadenpotenzial und Wald durchgeführt werden.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Mit den vorliegenden Resultaten, d.h. den Prozesstrajektorien für die Gefahrenbereiche Stein-/Blockschlag, Hangmuren / spontane Rutschung und Murgang, ist ein wichtiger Grundstein für das Ziel des Projektes SilvaProtect-CH - gesamtschweizerisch vergleichbare Schutzwaldflächen - gelegt. Als Folge der unterschiedlichen Güte der modellierten Prozessperimeter werden die im Modul INTERSECT ermittelten Schutzwaldflächen prozessspezifisch gewichtet und letztlich die kantonalen Schutzwaldindizes berechnet (siehe Giamboni & Wehrli, in Arbeit).

LITERATUR

- Gamma, P. (2000): dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung, Geographica Bernensia G66, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.
- Liener, S. (2000): Zur Feststofflieferung in Wildbächen. Geographica Bernensia G64, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.
- Liniger, M. (2000): Computersimulation von Stein- und Blockschlägen. Sonderdruck aus Felsbau 18 (2000) Nr.3: 56-63.
- Giamboni, M & Wehrli A. (in press): Improving the management of protective forests in Switzerland: The project SilvaProtect-CH. Interpraevent 2007