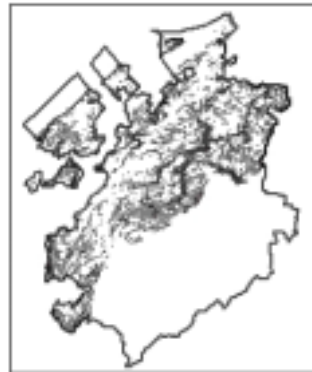


Amt für Wald, Wild und Fischerei
Rue du Mont Carmel 1
1762 Givisiez

Naturgefahrenkommission NGK
p. A. Bau- und Raumplanungsamt
1701 Freiburg



Integrale Kartierung Naturgefahren Freiburger Mittelland Gefahrenhinweiskarte für Sturz- und Rutschprozesse

Erläuternder Bericht (Kurzversion)

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Vorgehen und Grundlagen	3
2.1	Grundsätzliches	3
2.2	Grundlagendaten	3
2.3	Berücksichtigung von Schutzbauten und Wald	4
3	Methodik der Prozessbearbeitung	4
3.1	Rutschungsgefahren	4
3.1.1	Permanente Rutschungen.....	5
3.1.2	Spontane Rutschungen und Hangmuren.....	5
3.2	Sturzgefahren (Stein- und Blockschlag).....	7
4	Verifikation der Resultate.....	8
5	Interpretation der Resultate	9
6	Literaturverzeichnis	10



Auftrag vom 10.11.2006

1 Zusammenfassung

Die Gefahrenhinweiskarte für das Freiburger Mittelland ist Teil eines mehrstufigen Vorgehens zur Erkennung und Bewertung von Naturgefahren. Bereits in den Jahren 2000 – 2005 wurden für die Voralpengebiete integrale Gefahren- und Gefahrenhinweiskartierungen für die Prozesse Rutsch, Sturz, Lawinen und Hochwasser durchgeführt. In einer zweiten Phase (vorliegendes Projekt) wurde für das übrige Kantonsgebiet (Bereich Mittelland) eine Gefahrenhinweiskarte für Sturz- und Rutschprozesse erstellt.

Die Gefahrenhinweiskarte zeigt die für die Sturz- und Rutschprozesse relevanten Flächen, die bei einem Extremereignis betroffen sein können. Als Extremereignis bei spontanen Rutschungen und Hangmuren wird ein Ereignis angesehen, bei dem während intensiver Niederschläge die Böden so stark mit Wasser gesättigt werden, dass in einem Hangabschnitt einzelne bis zahlreiche Rutschungen ausgelöst werden können. Bei den Sturzprozessen ist nicht das einzelne Ereignis massgebend. Hier wurden die vorhandenen Felsgebiete als potenzielle Gefahrenquellen angesehen, aus welchen die möglichen Sturzwege modelliert wurden. Ebenso ist bei den permanenten Rutschungen nicht das einzelne Ereignis massgebend sondern der potenzielle Rutschkörper.

Die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte basiert auf den folgenden Grundsätzen:

- Über das ganze Bearbeitungsgebiet werden die Prozesse flächendeckend und in vergleichbarer Bearbeitungstiefe beurteilt.
- Für die Ausarbeitung werden Verfahren und Methoden angewendet, die eine nachvollziehbare und effiziente Ausscheidung von Gefahrengebieten nach einheitlichen Kriterien erlauben.
- Die verwendeten Simulationsmodelle garantieren eine gute Nachvollziehbarkeit und Transparenz. Dabei bildet das Extremereignis die massgebende Ereignisgrösse. Simulationsmodelle wurden für die Gefahren Spontanrutschungen, Hangmuren sowie Steinschlag verwendet.
- Permanente Rutschungen, für welche keine geeigneten Modelle auf Stufe Gefahrenhinweiskarte vorliegen, werden aufgrund vorhandener Kenntnisse und Grundlagen gutachtlich beurteilt.

Die Gefahrenhinweiskarte gibt Hinweise auf eine mögliche Gefährdung, eine Angabe zu Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit der Prozesse erfolgt jedoch nicht. Dies ist Aufgabe der Gefahrenkarte. Zudem sind die abgegrenzten Hinweisgebiete nicht parzellenscharf und können lokale Gegebenheiten nicht in jedem Fall berücksichtigen.

Damit ergibt sich eine klare Anwendung der Gefahrenhinweiskarte auf der Stufe Richtplan:

- Erkennen von Konfliktstellen im Bereich der Raumnutzung (Risikoverdachtsflächen)
- Festlegen von Prioritäten in der Raumplanung
- Definieren von Gebieten, wo Gefahrenkarten nötig sind
- Vorbeurteilung von grösseren Projekten und Bauvorhaben hinsichtlich Hang- und Bodenbewegungen.

Die Gefahrenhinweiskarte zeigt, dass grössere Teile des Freiburger Mittellandes, insbesondere auch Teile des Siedlungsgebietes, durch spontane Rutschungen und Hangmuren potenziell betroffen sind. Während eines Extremereignisses können innerhalb der Gefahrenhinweisflächen mehrere, in ihrer Ausdehnung meist begrenzte, spontane Rutschungen und Hangmuren auftreten. In dicht bebauten Siedlungsgebieten sind die Hinweisflächen tendenziell zu gross dargestellt, da die stabilisierende Wirkung der Gebäude sowie bauliche Sicherungsmassnahmen nicht berücksichtigt sind.

Die Gefährdung durch Sturzgefahren und durch permanente Rutschungen kann als untergeordnet betrachtet werden. Doch ist auch hier vereinzelt das Siedlungsgebiet betroffen.

Bearbeitungsgebiet Freiburger Mittelland	1050 km² 100 %	
Hinweisflächen spontane Rutschungen und Hangmuren	93 km ²	8.8 %
Hinweisflächen permanente Rutschungen	16 km ²	1.5 %
Hinweisflächen Steinschlag	13 km ²	1.2 %
Hinweisflächen im Siedlungsgebiet	4.7 km ²	0.5 %

Mit der Gefahrenhinweiskarte für Rutsch- und Sturzprozesse für das Freiburger Mittelland steht eine Planungsgrundlage zur Verfügung, mit welcher durch Überlagerung der Hinweisflächen mit Schadenpotenzialsgebieten (Siedlungen, Verkehrswege, Sonderrisiken) Konfliktstellen für den kantonalen Führungstab, die Raumentwicklung sowie für Konzepte und Projekte rasch erkannt werden können.

2 Vorgehen und Grundlagen

2.1 Grundsätzliches

In der Gefahrenhinweiskarte des Freiburger Mittellandes wurden folgende Gefahrenprozesse bearbeitet:

- Stein- und Blockschlag
- Permanente Rutschungen
- Spontanrutschungen und Hangmuren

Die ausgeschiedenen Gefahrengebiete sind weitgehend frei von subjektiven Beurteilungen, da das ganze Bearbeitungsgebiet einheitlich und objektiv nach bestimmten vorgegebenen Kriterien beurteilt wurde. Die bei den Modellrechnungen verwendeten Parameter sind bekannt, wodurch die geforderte Nachvollziehbarkeit und Transparenz gewährleistet ist.

2.2 Grundlagendaten

Die Verwendung von GIS-basierten Verfahren erfordert verschiedene digitale Datensätze. Im Kanton Freiburg liegt bereits ein Grossteil der räumlichen Daten digital vor. Diese Grundlagen wurden für die Bearbeitung der Gefahrenhinweiskarte Freiburg (Mittelland) verwendet.

- Übersichtskarte der Rutschgebiete (1976, 1:50'000)

- Kartierung der Boden- und Hanginstabilitäten (1993-1999, 1:10'000)
- Ereigniskataster (StorMe)
- Geologische Karten (jpg, tif)
- Terrainmodell-Daten (DTM-AV)
- Orthophotos (1998 und 2005)
- SilvaProtect-Daten (2006)

2.3 Berücksichtigung von Schutzbauten und Wald

Auf Stufe Gefahrenhinweiskarte werden generell - wie auch in diesem Projekt - Schutzbauten nicht berücksichtigt. Die resultierenden Gefahrenhinweisflächen sind daher etwas überzeichnet. Damit wird aber gewährleistet, dass potenzielle Konfliktstellen im Bereich der Raumnutzung (Risikoverdachtsflächen) erkannt werden.

Die Berücksichtigung der Schutzbauten muss auf Stufe Gefahrenkarte erfolgen, wo detaillierte Abklärungen bezüglich der Schutzwirkung erforderlich sind.

Wälder können einen guten Schutz vor Steinschlag bilden. Durch Stürme und grossflächige Holzschläge ist die Schutzfunktion des Waldes aber nicht in jedem Fall gewährleistet. Wo die Schutzfunktion nicht mehr vorhanden ist, muss mit grösseren Auslaufdistancen und entsprechend grösseren betroffenen Flächen gerechnet werden. In der vorliegenden Modellierung wurde die Schutzwirkung des Waldes nicht berücksichtigt.

3 Methodik der Prozessbearbeitung

3.1 Rutschungsgefahren

Der Prozessbereich der Rutschungsgefahren umfasst die Prozessstypen der permanenten Rutschungen und der spontanen Rutschungen/Hangmuren.

Im Unterschied zu spontanen Rutschungen und Hangmuren ist bei permanenten Rutschungen der bewegte Bodenkörper kontinuierlich in Bewegung. Die Bewegungsbeträge sind gering, so dass Personen im Gegensatz zu den spontanen Rutschungen und Hangmuren in der Regel nicht direkt bedroht sind. Für Sachwerte (Gebäude, Strassen) besteht die Gefahr von langsamem Verkippen, Zerreißen oder Absenken, während bei spontanen Rutschungen mit Überführung von Material und Zerstörung von Objekten gerechnet werden muss.

Permanente Rutschungen weisen gegenüber den spontanen Rutschungen in der Regel eine grössere Ausdehnung auf. Im Gelände äussern sie sich meist durch eine unruhige Topographie.

Obwohl es sich bei beiden Prozessstypen um gravitativ bedingte Bodenbewegungen handelt, müssen die Prozesse auf Grund ihrer prozessspezifischen Auslöse- und Verlagerungsmechanismen unterschiedlich behandelt werden. Entsprechend werden für die Bearbeitung unterschiedliche Verfahren angewendet.

3.1.1 Permanente Rutschungen

Der Gefahrenprozess 'permanente Rutschungen', für welchen aufgrund seiner Komplexität keine geeigneten Modelle auf Stufe Gefahrenhinweiskarte zur Verfügung stehen, wurde gutachtlich beurteilt. Grundlagen für die Beurteilung bildeten einerseits das detaillierte Terrainmodell mit einer Rasterauflösung von 2 m und andererseits die in den Jahren 1993-1999 auf Basis von Luftbildern und Feldarbeit kartierten Boden und Hanginstabilitäten.

Mit den heute zur Verfügung stehenden DTM-AV Daten werden Geländeformen in einem sehr hohen Detaillierungsgrad dargestellt. In der Schattenwurfdarstellung lassen sich dadurch die für grossräumigere Bodenbewegungen charakteristischen Formen wie Abbruchränder, Nackentäler und Stauchwülste recht gut erkennen und abgrenzen.

Kriterien für die Ausscheidung permanenter Rutschungen

- Vorhandensein morphologischer Spuren (Phänomene) wie unruhige Abrissränder, Nackentäler, Stauchwülste oder unruhige Topographie
- räumliche Ausdehnung: permanente Rutschungen weisen in der Regel eine grössere räumliche Ausdehnung auf

Zusätzlich wurden die in der Karte der Boden- und Hanginstabilitäten (1993 – 1999) kartierten Rutschungen verifiziert und bezüglich Rutschmechanismus beurteilt. Wo die kartierten Rutschflächen eine gute Übereinstimmung mit dem Terrainmodell zeigten, wurden die Flächen übernommen. Wo relevante Abweichungen vorhanden waren, wurden die Flächen angepasst oder allenfalls neu erfasst.

Als Beurteilungskriterien für die Ausscheidung wurden dieselben morphologischen Kriterien verwendet wie bei der Erfassung der zusätzlichen Rutschungen.

3.1.2 Spontane Rutschungen und Hangmuren

Das Vorgehen zur Bearbeitung der spontanen Rutschungen und Hangmuren lässt sich in drei Bearbeitungsschritte unterteilen:

A) Aufbereitung der geologischen Grundlagen:

Erhebung der Geologie

Eine wesentliche Grundlage für die Beurteilung der Rutschanfälligkeit sind Kenntnisse zum oberflächennahen Untergrund. Diese Informationen lassen sich mit einer auf Stufe Gefahrenhinweiskarte adäquaten Genauigkeit aus geologischen Grundlagen ableiten.

Die Beurteilung der Rutschgefährdung verlangt eine detaillierte Ansprache der lokalen Geologie. Dazu wurden alle geologischen Einheiten (ca. 60 unterschiedliche Einheiten) in Bezug auf Materialzusammensetzung, Durchlässigkeit und Produktivität beurteilt. Wo in der Karte Lockermaterial ausgeschieden ist, wurde direkt das Lockermaterial klassiert. Wo Festgestein ausgeschieden ist, wurde für die jeweiligen Einheiten das zu erwartende Verwitterungsprodukt bestimmt und beurteilt.

Beurteilung der geologischen Einheiten bezüglich Stabilität

Ausgehend von den Eigenschaften der klassierten geologischen Einheiten wird für jede Einheit der kritische Reibungswinkel bestimmt. Als Reibungswinkel wird derjenige Winkel (Hangneigung) bezeichnet, bei welchem das Material die innere Stabilität verliert. Dieser Wert fliesst als massgebender Parameter in die Modellierung der Anrissgebiete für spontane Rutschungen und Hangmuren mit ein.

B) Modellierung der Anrissgebiete:

Mit dem Teilmodell 1 (Modell SLIDISP, Liener 2000a + b) werden die Anrissgebiete für spontane Rutschungen und Hangmuren modelliert, basierend auf einer anerkannten Stabilitätsberechnungsmethode (Infinite-Slope-Analysis). Die wichtigsten Eingangsgrößen für das Modell sind Hangneigung, Scherparameter, Lockermaterialmächtigkeit und Porenwasserdruck. Sie werden flächendeckend über das ganze Bearbeitungsgebiet erhoben.

Um die hohe natürliche Variabilität der Scherparameter abzubilden, werden die Scherparameter (Kohäsion und Reibungswinkel) nicht durch einzelne Werte pro geotechnischer Klasse sondern durch Verteilungsfunktionen beschrieben. Für die Bestimmung der Rutschanfälligkeit werden wiederholt Werte aus den Verteilungen der Scherparameter ausgewählt und damit mehrere Sicherheitsgrade berechnet. Mit dieser so genannten Monte-Carlo-Simulation können die natürlichen Variationsbreiten verschiedener Parameter in der Modellierung berücksichtigt werden.

Für jede Klasse wird in Abhängigkeit der Durchlässigkeit die massgebende Wassersättigung bestimmt. Sie ist für schlecht durchlässiges Lockermaterial generell hoch, beziehungsweise für gut durchlässiges Lockermaterial eher gering. Da die Wassersättigung in der Natur räumlich sehr heterogen sein kann, wird sie wie die Scherparameter mittels einer Verteilungsfunktion und einer Monte-Carlo-Simulation im Modell berücksichtigt.

Generell treten in Verflachungen sowie in Muldenlagen eher höhere Wassersättigungen auf, während auf Rücken und Kuppen tiefere Wassersättigungen möglich sind. Mit dem Topindex (Quinn et al. 1995) kann die Bereitschaft für topografisch bedingte hohe Wassersättigungen basierend auf dem Terrainmodell berechnet werden. Bei Lagen mit erhöhter Wassersättigung (Senken, Verflachungen) wird die Wassersättigung für die Modellierung in Abhängigkeit des Topindex erhöht.

Die durch das Modell als rutschanfällig ausgeschiedenen Flächen können auch Gebiete mit sehr wenig Lockermaterial oder mit einzelnen Felsbändern umfassen, in denen Hangmuren nur lokal möglich sind. Es wird daher eine tendenziell zu grosse Fläche ausgeschieden.

Zudem wird bei einem Extremereignis nicht die ganze Fläche betroffen sein, sondern innerhalb der ausgeschiedenen Flächen können einzelne aber auch mehrere spontane Rutschungen und Hangmuren auftreten.

Die Flächen werden ohne Berücksichtigung der Bebauung modelliert. Gefahrenflächen in bebauten Gebieten haben daher nur eine beschränkte Aussagekraft. Eine Bebauung schränkt die Bildung von spontanen Rutschungen und Hangmuren stark ein.

Die modellierten Anrissbereiche werden abschliessend generalisiert. Dabei werden schmale Anrissbereiche (≤ 8 Meter) und anschliessend kleine Anrissflächen ($\leq 200 \text{ m}^2$) gelöscht. Dadurch werden hauptsächlich Anrissflächen entlang von Verkehrswegen (schmale Böschungen) sowie innerhalb der Siedlungsflächen entfernt. Der Grenzwert von 200 m^2 wurde gutachtlich aufgrund von Erfahrungswerten und Überprüfungen im Gelände festgelegt.

C) Modellierung der Auslaufbereiche:

Ausgehend von den generalisierten Anrissgebieten wird der mögliche Transit- und Auslaufbereich bestimmt. Mit Teilmodell 2 (Modell SLIDESIM) werden die Auslaufbereiche von den modellierten Startgebieten ausgehend berechnet und dargestellt. Für die Modellierung wurde das Terrainmodell DTM2 verwendet, welches eine Rasterauflösung von 2 m aufweist.

Die Ausbreitung der Hangmuren erfolgt, ähnlich wie beim Murgangmodell von geo7 AG, mit einem 'random walk' Ansatz, welcher für jede Rasterzelle mehrere mögliche Nachfolger zufällig auswählt. Dieser Ansatz berücksichtigt einerseits einen Grenzwinkel, ab welchem eine Ausbreitung überhaupt möglich ist, andererseits die Neigungen zu den umliegenden Zellen. Die Auswahl der möglichen Nachfolger erfolgt durch einen Vergleich der maximalen Neigung zu einer Nachbarzelle mit der Neigung zu allen anderen Nachbarzellen.

3.2 Sturzgefahren (Stein- und Blockschlag)

Wie bereits bei der Modellierung der Hangmuren, wird auch bei der Modellierung des Steinschlags zwischen der Ausscheidung der Startgebiete und der Modellierung der Auslaufbereiche unterschieden.

Das verwendete Steinschlagmodell besteht entsprechend aus einem Dispositionsmodell, welches die potenziellen Startgebiete bestimmt sowie einem Prozessmodell, welches die Reichweite und Ausbreitung flächendeckend über den ganzen Kanton modelliert.

Im Modell können folgende Parameter berücksichtigt werden:

- Topographie des Geländes: Terrainmodell in 10 m oder 2 m Rasterauflösung (DTM10 für Modellierung Auslaufbereiche, DTM2 für Ausscheidung Startgebiete)
- Dämpfung des Untergrundes: Reaktion des Untergrundes beim Aufprall eines Steines
- Wald: für Steine und kleinere Blöcke stellt ein gesunder Wald ein wirksames Hindernis dar

A) Dispositionsmodell:

Die Ausscheidung der Startgebiete erfolgte im Wesentlichen anhand der aus dem Höhenmodell (DTM2) abgeleiteten Hangneigung und der Oberflächenbeschaffenheit (Felsflächen). Alle Flächen mit einer Hangneigung grösser 45° wurden als potentielle Felsflächen ausgeschieden.

Die so ausgeschiedenen Startgebiete wurden anschliessend generalisiert. Dabei wurden Kleinstflächen $\leq 400 \text{ m}^2$ gelöscht, welche in der Regel wenig relevante Startgebiete darstellen und meist durch DTM-Ungeauigkeiten entstandene sind. Die verbleibenden Startgebiete wurden zudem anhand des Übersichtsplanes plausibilisiert. Startgebiete aus künstlichen Objekten (z.B. Staumauer) wurden eliminiert.

B) Prozessmodell:

Mit dem Prozessmodell werden ausgehend von den Ausbruchsgebieten die Sturzbahnen (Reichweiten und Ausbreitung) des Steinschlags modelliert. Eine grosse Bedeutung kommt dabei der Charakterisierung der Transitgebiete zu, da in diesem Abschnitt entscheidende Veränderungen der Parameter erfolgen.

Das Modell berechnet im Transitgebiet der Sturzbahnen abschnittsweise die Energie des stürzenden Steines oder Blockes. Die berechneten Energien sind dabei abhängig von den Eigenschaften des Untergrundes entlang der Sturzbahnen. Treffen die stürzenden Steine und Blöcke auf weichen Untergrund oder auf einen Untergrund mit unregelmässiger Oberfläche, können sie einen Grossteil ihrer Energie verlieren. Bei hartem Untergrund, z.B. felsigen Partien, und/oder glattem Untergrund, ist der Energieverlust minimal.

Obwohl im Modell möglich, wurde die Bremswirkung des Waldes in der vorliegenden Gefahrenhinweismodellierung nicht berücksichtigt.

Zur Modellierung der Reichweite und des Ausbreitungsverhaltens verwendet das Modell den von Scheidegger (1975) beschriebenen 1 Parameter-Ansatz. Das Modell berechnet, unter Verwendung eines Finite Differenzen-Ansatzes, abschnittsweise die Geschwindigkeit eines stürzenden Blockes oder Steines entlang seines Sturzweges aufgrund der Energiebilanz innerhalb des betrachteten Abschnittes unter Gleichgewichtsbedingungen.

Neben der Modellierung der Reichweite ist die Simulation des Ausbreitungsweges ein wichtiger Bestandteil der GIS-gestützten Sturzbeurteilung. Für die Modellierung des Sturzweges wird ein 'random walk' Ansatz verwendet, der auf der Arbeit von Zimmermann et al. (1997) basiert.

Beim 'random walk' Ansatz wird der Nachfolger einer Rasterzelle zufällig gewählt. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Rasterzelle als Nachfolger gewählt wird, ist einerseits von der Hangneigung abhängig, andererseits von der bisherigen Sturzrichtung des Steinschlags (Persistenz). Für die Auswahl der möglichen Nachfolger einer Rasterzelle wird ein Multiflowdirection-Ansatz verwendet. Dieser Ansatz berücksichtigt einerseits einen Grenzwinkel, ab dem eine Ausbreitung überhaupt möglich ist, andererseits die Neigungen zu den umliegenden Zellen. Die Auswahl der möglichen Nachfolger erfolgt durch einen Vergleich der maximalen Neigung zu einer Nachbarzelle mit der Neigung zu allen anderen Nachbarzellen. Das Mass der Ausbreitung wird über den Parameter Ausbreitungsexponent festgelegt (vgl. Zimmermann et al. 1997).

4 Verifikation der Resultate

Die aus der Prozessmodellierung resultierenden Flächen müssen kritisch geprüft und allfällige Fehler bereinigt werden. Insbesondere Unkorrektheiten aus dem Terrainmodell wie beispielsweise die nicht Darstellung von kleineren Geländeerhebungen z.B. Dämmen (Autobahn, Eisenbahn) aufgrund der Datengenauigkeit der DTM-AV-Daten oder der verwendeten Rastergrösse von 2 m oder aufgrund von Fehlinterpretationen von künstlichen Objekten können dazu führen, dass die Prozessflächen im Auslaufbereich zu gross ausgedehnt werden. Entsprechend wichtig ist eine Plausibilisierung.

Es wurden die folgenden Überprüfungen durchgeführt:

Plausibilisierung der Gefahrenquellen anhand von Orthophotos, Karten und Terrainmodell
Orthophotos, Karten (LK25, Übersichtsplan) und Terrainmodell bilden eine gute Grundlage für die Plausibilisierung der Gefahrenquellen (z.B. Startgebiete für Steinschlag und Hangmuren/Spontanrutschungen).

Es wurden folgende Bereinigungen ausgeführt:

- Elimination von kleinsten Gefahrenquellen (Startgebiete Hangmuren/Spontanrutschungen und Steinschlag): Kleinste Startgebiete ($\leq 400 \text{ m}^2$ für Steinschlag, $\leq 200 \text{ m}^2$ für Hangmuren/Spontanrutschungen) wurden aufgrund der fehlenden Relevanz eliminiert.
- Elimination von offensichtlich unplausiblen Startgebiete, meist Kunstbauten (Staumauern, Stützmauer, etc.).
- Elimination von Startgebieten welche aus eindeutigen Fehlern des Terrainmodells resultieren.

Verifikation anhand des Ereigniskatasters

Die modellierten Prozessflächen für Steinschlag und Hangmuren/Spontanrutschungen sowie die permanenten Rutschungen wurden mit den im Ereigniskataster dokumentierten Ereignissen verglichen. Es konnte bei allen Prozessen eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt werden.

Verifikation anhand Silvaprotect-Daten

Die modellierten Prozessflächen für Steinschlag und Hangmuren/Spontanrutschungen wurden mit den Silvaprotect-Daten verglichen. Es konnte bei allen Prozessen eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt werden.

Verifikation im Gelände

Im Gelände verifiziert wurden diejenigen Gebiete wo ein relevantes Schadenpotential (Siedlungen, wichtige Verkehrswege) durch Gefahrenprozesse getroffen wird. Die Hangmuren und Spontanrutschungen wurden in den Gebieten welche bereits bei der Gelände-
verifikation für Steinschlag und permanente Rutschungen aufgesucht wurden, stichprobenartig verifiziert.

Zusätzlich wurde entlang der Bahnlinien und der Autobahn die Startgebiete für Sturz und Hangmuren/Spontanrutschungen kontrolliert.

An den modellierten Prozessflächen wurden aufgrund der Gelände-
verifikation keine geometrischen Veränderungen vorgenommen.

5 Interpretation der Resultate

Spontane Rutschungen und Hangmuren können verschiedentlich die Siedlungsgebiete erreichen. Die Entstehung im Siedlungsgebiet ist jedoch seltener. Da bei der Modellierung die Bebauung nicht berücksichtigt wurde, haben die Hinweisflächen in den bebauten Gebieten nur eine beschränkte Aussagekraft. Insbesondere Gemeinden und Ortschaften mit Siedlungsgebieten in steileren Hanglagen wie dies beispielsweise in Môtier, Montagny-les-Monts oder Châtillon der Fall ist, weisen grössere Hinweisgebiete für spontane Rutschungen und Hangmuren auf.

Die *Steinschlaggefahren* sind im Freiburger Mittelland stark *untergeordnet* und betreffen nur rund 1 % des Bearbeitungsgebietes. Die grössten Steinschlagquellen stellen die Sandstein-Felswände der Saane- und Senseschlucht dar. Hier ist jedoch nur wenig Schadenpotential bedroht. Im übrigen Untersuchungsgebiet ist das Siedlungsgebiet mit wenigen Ausnahmen nicht oder nur randlich von Steinschlag betroffen (z.B. Villeneuve). Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass Felswände als Sturzquellen im Untersuchungsgebiet nur wenig verbreitet sind, zum andern befinden sich die Siedlungsgebiete in den meisten Fällen ausserhalb des Wirkungsbereiches der Sturzprozesse.

Ebenfalls *untergeordnet* treten *permanente Rutschungen* auf. Diese weisen einen Anteil von 1.5 % am gesamten Bearbeitungsgebiet auf. Die Verbreitung der permanenten Rutschungen über das gesamte Untersuchungsgebiet widerspiegelt deutlich die lokale Geologie. Die grosse Verbreitung von Schichten mit erhöhter Disposition zu Rutschungen wie verwitterungsanfällige Sandsteine, Mergel und Flyschgesteine führt dazu, dass praktisch in allen Regionen kleinere aber auch grössere Rutschgebiete feststellbar sind.

Die Gefahrenhinweiskarte des Freiburger Mittellandes zeigt diejenigen Flächen, die durch Massenbewegungsprozesse: Steinschlag, Hangmuren/Spontanrutschungen und perma-

nente Rutschungen bei einem Extremereignis betroffen sein können. Die Karte gibt einen Hinweis auf eine mögliche Gefährdung ohne sich zu deren Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit zu äussern.

Die auf der Gefahrenhinweiskarte dargestellten Flächen basieren auf realistischen, durch Erfahrung und Beobachtungen abgestützten Modellrechnungen, welche durch Feldaufnahmen unterstützt wurden. Gewisse Ungenauigkeiten bestehen jedoch in der Auswertung der topografischen Gegebenheiten. Bestehende Verbauungen gegen Rutschungen und Steinschlag wurden bei der Bearbeitung nicht berücksichtigt. Der stabilisierende Einfluss von Drainagemassnahmen oder die stabilisierende Wirkung von Bebauungen bei spontanen Rutschungen wurden bei der Modellierung nicht einbezogen. Es wurden lediglich Schutzbauten berücksichtigt, welche sich morphologisch im Geländemodell abzeichnen, das heisst grössere Geländeschüttungen, wie z.B. Schutzwälle, Schutzdämme und ähnliche.

6 Literaturverzeichnis

BAFU 2006: SilvaProtect-CH Schutzwaldhinweiskarte der Schweiz; Modul Event: Los 1 Prozesse Steinschlag/Blockschlag, Los 2 Prozesse Hangmuren/Rutschungen, Murgang.

BRP, BWW, BUWAL 1997: Empfehlungen: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.

Bull. angew. Geol. 5/1, September 2000: Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999. Unter Mitwirkung von BWG und PLANAT.

BWG, WSL 2003: Oberflächennahe Rutschungen, ausgelöst durch die Unwetter vom 15.-16.7.2002 im Napfgebiet und vom 31.8.-1.9.2002 im Gebiet Appenzell.

Geo7 1997: Methodenentwicklung für die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten und die Ausscheidung von Wäldern mit besonderer Schutzfunktion im Interessensgebiet der SBB. Überblicksauswertung entlang definierter Streckenabschnitte.

Quinn, P.F., Beven, K., Lamb, R., 1995: The $\ln(a/\tan \beta)$ index: How to calculate it and how to use it within the topmodel framework. Hydrological processes, Vol. 9

Heinimann et al. 1997: Beurteilung von Naturgefahren. Bericht zum FLAM-Modul Naturgefahren. BUWAL, Bern.

Liener S. 2000a: Zur Feststofflieferung in Wildbächen, Geographica Bernensia G64, Universität Bern.

Liener S. 2000b: Modellierung von flachgründigen Rutschungen mit dem Modell SLIDISP, Interprävent 2000, Villach.

Scheidegger, A.E. 1975: On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides. Rock Mechanics, Vol. 5, p. 231-236.

Zimmermann et al. 1997: Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz.

Bern, 28.11.2007, geo7 AG,
Givisiez, 22.4.2008, gekürzte Version, WE/ BL