

KARTE DER
BODEN- UND
HANGINSTABILITÄTEN
ERLÄUTERNDER BERICHT

Raumplanungs-, Umwelt- und Baudirektion
Bau- und Raumplanungsamt

Direktion der Institutionen und der Land- und Forstwirtschaft
Amt für Wald, Wild und Fischerei

Freiburg, Januar 2007

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	3
2.	Erstellungsrahmen	3
3.	Methodik	5
4.	Kartierte Phänomene	6
4.1	Rutschungen	6
4.1.1	Permanente Rutschungen	6
4.1.2	Hangmuren und Spontanrutschungen	7
4.2	Steinschlag, Blockschlag, Felssturz	7
4.3	Einsturz- und Sackungsphänomene	8
5.	Legende und Inhalt der Karte	9
5.1	Rutschungen, Hangmuren, Spontanrutschungen, potentielle Rutschungen	9
5.1.1	Anriss-/Herkunftsbereich	9
5.1.2	Durchgangs- und Ablagerungszonen	11
5.1.3	Potentielle Rutschungen	11
5.1.4	Tiefe	11
5.2	Steinschlag, Blockschlag, Felssturz, Bergsturz	12
5.2.1	Anriss-/Herkunftsbereich	12
5.2.2	Durchgangs- und Ablagerungszonen	13
5.2.3	Sturzbahn des Materials	13
5.3	Einsturz- und Sackungsphänomene	13
5.3.1	Doline oder Dolinengruppe	13
5.3.2	Potentiellies Absenkungsgebiet auf kompressiblem Untergrund	13
5.4	Morphologie	14
6.	Benutzung und Grenzen	14
7.	Ablage, Nachführung	15
	Kontakt	15
	Literaturhinweise	16

1. EINFÜHRUNG

Naturkatastrophen, ebenso wie kleinere und weniger mediatisierte Naturereignisse, finden mit sicherer Regelmässigkeit statt, sei es irgendwo auf der Welt, in der Schweiz oder im Kanton Freiburg. Solche Ereignisse können auch bei uns Menschenleben gefährden und grosse Schäden an versicherten und unversicherten Sachwerten verursachen. Für die öffentliche Hand und für Privatpersonen kann dies mit beträchtlichen Kosten und Problemen verbunden sein. Angesichts dieser Herausforderungen sind Strukturen und Massnahmen erforderlich, die den Schutz vor Naturgefahren gewährleisten. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine zielgerichtete Präventionsarbeit ist die Identifizierung und Lokalisierung der gefährlichen Phänomene.

Die *Karte der Boden- und Hanginstabilitäten des Kantons Freiburg* (weiter unten «die Karte» genannt) stellt eine der möglichen Grundlagenstudien im Bereich der Naturgefahren dar. Ein solches Inventar enthält die Instabilitätsphänomene des ganzen Kantons, und gibt deren geografische Verteilung, Ausdehnung (Oberfläche und Mächtigkeit) sowie deren Aktivität an.

> Definition

Bei *Massenbewegungen* oder *Hanginstabilitäten* handelt es sich um bruchhafte oder bruchlose, unter der Wirkung der Schwerkraft hangabwärts gerichtete Verlagerungen von Fest- (Fels) und/oder Lockergesteinen (inkl. Bodenmaterial und Wasser). Sie können schnell und plötzlich als «schlagende» oder langsam als «schleichende» Prozesse erfolgen. Es handelt sich namentlich um folgende Prozesse:

- Rutschungen,
- Hangmuren und spontane Rutschungen,
- Stein- und Blockschlag, Fels- und Bergsturz,
- Einsturz- und Sackungsphänomene.

Das Erstellen einer solchen Inventarkarte kommt der objektiven Notwendigkeit nach, von Massenbewegungen beeinflusste Gebiete zu identifizieren, damit sie im Rahmen der Bautätigkeiten und Planungen (Raumplanung) berücksichtigt werden können. Ausserdem verlangt das Bundesgesetz über die Raumplanung von den Kantonen, die durch Naturgefahren oder von schädlichen Einwirkungen bedrohten Gebiete festzustellen. Die Bundesgesetze über den Wald und den Wasserbau bestärken dieses Erfordernis und verlangen von den Kantonen die Erstellung von Katastern und Gefahrenkarten, unter anderem im Bereich der Hanginstabilitäten. Der Bund hat Empfehlungen zu diesem Sachbereich herausgegeben (Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten; BRP, BWW, BUWAL; 1997).

In Verbindung mit anderen Daten dient die Karte als Grundlage für die Erarbeitung der Naturgefahrenkarten für Rutschungen und Stein-/Blockschlag.

> Eidgenössische Gesetzesgrundlage

- Bundesgesetz vom 22. Juni 1979 über die Raumplanung (RPG)
- Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über den Wald (WaG) und Verordnung vom 30. November 1992 über den Wald (WaV)
- Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über den Wasserbau (WBG) und Verordnung vom 2. November 1994 über den Wasserbau (WBV)

2. ERSTELLUNGSRAHMEN

Die *Karte der Boden- und Hanginstabilitäten* bildet die Nachfolge der «Vorläufigen Übersichtskarte der Rutschgebiete». Diese Hinweiskarte entstand anhand von morphologischen und Luftbildanalysen sowie von bestehenden Kartenteilen, aber ohne Felderhebungen. Sie wurde 1974 vom Institut für Geologie im Massstab 1:25'000 realisiert, und im September 1976 von der Baudirektion (BD, heute Raumplanungs-, Umwelt- und Baudirektion RUBD) im Massstab 1:50'000 mit einem erläuternden Bericht veröffentlicht.

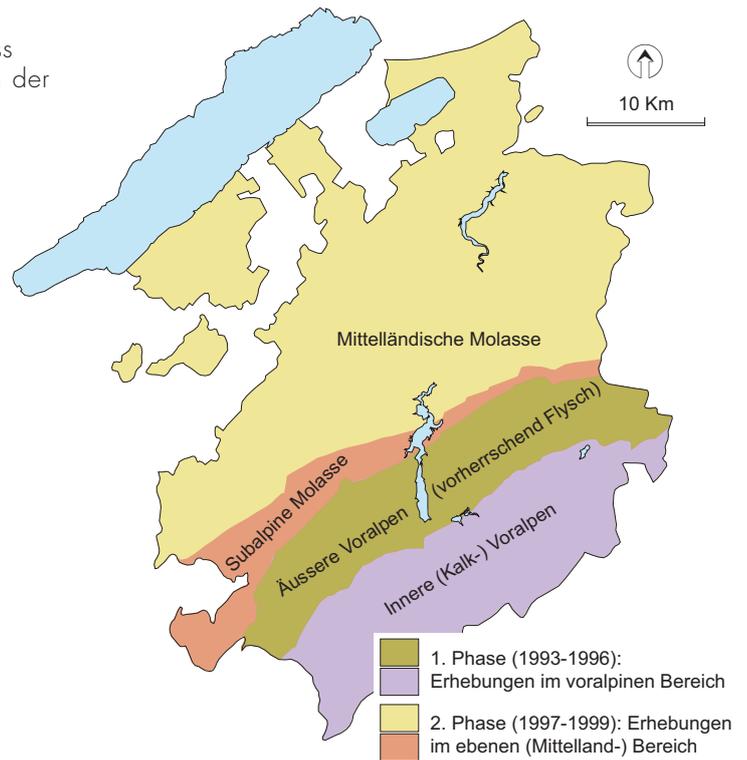
Angaben zum Rahmen der Erstellung der Karte der Boden- und Hanginstabilitäten

- Inhalt:
Erfassung der Rutschungen (nach Aktivität und Tiefe differenziert), Hangmuren und spontanen Rutschungen, Stein- und Blockschlag, Fels- und Bergsturz, Einsturz- und Sackungsphänomene.
- Deckungsgrad:
Die Karte deckt die Gesamtheit des Kantons im Massstab 1:10'000 (Erhebungs- und Arbeitsmassstab).
- Auftraggeber:
Baudirektion (heute RUBD) und Kantonale Gebäudeversicherung (KGV).
- Auftragnehmer:
Geologisches Institut der Universität Freiburg.
- Koordination:
Naturgefahrenkommission.
- Mitwirkung:
Bau- und Raumplanungsamt (BRPA), Amt für Wald, Wild und Fischerei (WaldA), Sektion Gewässer des Tiefbauamtes (SGeW).
Die Landeshydrologie und -geologie, heute im Bundesamt für Umwelt einbezogen, trug im Rahmen eines Pilotprojektes zu der Kartierung bei (Loup 1994).
- Finanzierung:
Eidgenössische Forstdirektion (heute Bundesamt für Umwelt) und KGV.
- Vorläufige Studie:
Im Frühling 1993, Erarbeitung einer Vorstudie in der Hinsicht, eine detaillierte Karte der Hanginstabilitäten zu erstellen. Diese Vorstudie erlaubte die Aufstellung der Anforderungen zukünftiger Benutzer dieser Karte, eine Analyse der methodischen Möglichkeiten, die Bestimmung eines Kostenrahmens sowie eines Arbeitsprogramms.
- Felderhebungen:
Die Kartographie wurde nach Prioritäten in zwei Phasen aufgeteilt (Figur 1):
 - Sommer 1993 - 1996: Gesamtheit der Voralpen (600 km²); externe Voralpen, grösstenteils aus Flysch gebildet (Definition am Rand), und mittlere Voralpen (Préalpes médianes, Definition am Rand), meistens Kalkgestein;
 - 1997 bis Juni 1999: Mittelland (1000 km², aus Molasse (Definition am Rand) und Quartärablagerungen gebildet.
- Verfassung des Berichts:
Zweites Semester 1999: Verfassen, Kartographie, Digitalisierung.
- Digitalisierung:
Ingenieurbüro Philipona & Brügger, Plaffeien.

Molasse: Sedimentäre Ablagerungen in Form von Sandsteinen und Mergeln, gebildet in einem flachen Vorland-Meeresbecken oder in fluvialen Systemen und Überschwemmungsebenen. Die Ablagerung fand während der letzten Phase der Alpenbildung im Tertiär (vor ca. 40 bis 15 Millionen Jahren) statt. Je nach Verhältnis der mergeligen oder tonigen Zwischenlagen können die angetroffenen Instabilitätsphänomene entweder die Form von Setzungen annehmen, die als Rutschungen (von mittlerer bis grosser Mächtigkeit) fortschreiten, oder als spontane Phänomene (Stein- oder Blockschlag, Felssturz) auftreten.

Flysch: Gleichförmige, unbestimmt wiederholte Abfolge von Sandstein- und Mergelschichten mit unterschiedlicher Mächtigkeit und sequenzieller Anordnung, zu denen mehr oder weniger grobe Konglomerate und manchmal Kalklagen kommen können. Die Ablagerung fand in der Bildungsphase der alpinen Bergkette, zwischen der oberen Kreide und dem unteren Tertiär (vor ca. 70 bis 40 Millionen Jahren), statt. Je nach Anzahl oder Mächtigkeit der Mergellagen bildet der Flysch besonders günstige Voraussetzungen für Hangrutschungen, die meistens langsam, doch manchmal auch katastrophal ablaufen.

Figur 1: Grosse tektonische Einheiten des Kantons Freiburg (gemäss BAFU, geändert) und Phasen der Erhebungen.



v

«Kalk-Voralpen». Dieser ziemlich allgemeine Begriff beschreibt die Gebirgseinheit im südöstlichen Teil des Kantons. Er beinhaltet vor allem die Decke der «Préalpes médianes plastiques», die seinen wesentlichen Bestandteil ausmachen, aber auch einen Abschnitt der Galstlosen-Kette, die bereits den «Préalpes médianes rigides» angehört. Diese etwas künstliche Zusammenfassung widerspiegelt trotz verschiedenen tektonischen Zugehörigkeiten eine gewisse lithologische Einheit (Art der Gesteine), in der Abfolgen von Kalk- und Mergellagen mesozoischen Alters (ca. 240 bis 65 Millionen Jahre) vorherrschen. Diese Gesteine begünstigen eine stark gefaltete Struktur, die wiederum zu einer ziemlich unebenen Gestaltung der Oberfläche führt, und von der gerade die mächtigen Kalkschichten das wesentliche morphologische Merkmal bilden.

3. METHODIK

Bei der *Karte der Boden- und Hanginstabilitäten* handelt es sich um eine Karte der Phänomene im Sinne der Bundesempfehlungen (Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten; BRP, BWW, BUWAL; 1997). Eine solche Karte stellt objektive Interpretationen zusammengetragener Zeichen und Indizien («stumme Zeugen») und demzufolge an gefährliche Prozesse gebundene Phänomene dar. Sie beschreibt betroffene Sektoren unabhängig von der Gefahrenstufe.

Die angewandte Methode sowie die entwickelte Legende berücksichtigen die verschiedenen Erfahrungen im Fachbereich der geomorphologischen Kartierung. Sie gründen im Besonderen auf den folgenden Arbeiten:

- DUTI-Projekt («Détection et utilisation des terrains instables», ETHL, 1985),
- Vorresultate im Rahmen der Legende «Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene» (1995),
- Vorresultate im Rahmen der «Pilotstudie Karte der Bodenbewegungsgefahren 1:25'000, Blatt 1247 Adelboden» (1996),
- Vorresultate im Rahmen der Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» (1997).

Die Untersuchung der Massenbewegungen im Rahmen der Erstellung einer Karte der Phänomene erfordert eine multidisziplinäre Arbeitsweise, die sich vornehmlich auf Kenntnisse der Geologie, Geomorphologie, Hydrogeologie und Geotechnik beruft. Die *Karte der Boden- und Hanginstabilitäten* basiert auf dem Zusammentragen existierender Literatur, der morphologischen Analyse topografischer Karten (1:10'000 und 1:25'000), der Luftbildanalyse sowie auf geologische Felderhebungen (geomorphologische Kartierung).

Die Integration und Interpretation der Indizien in Verbindung mit der dreidimensionalen Evaluation der Untergrundbedingungen erlaubt

- die Umgrenzung instabiler Zonen,
- die Bestimmung des Prozesstyps,
- und die Abschätzung der Aktivität (mittlere Geschwindigkeit) und Tiefe der Rutschmasse.

Vorhandene quantifizierte Daten zu den Bewegungen oder zu den Mächtigkeiten wurden im Rahmen ihrer Verfügbarkeit berücksichtigt; es wurden bei den Erhebungen keine zusätzlichen Untersuchungen (Bohrungen, Geodäsie, usw.) durchgeführt.

4. KARTIERTE PHÄNOMENE

4.1 Rutschungen

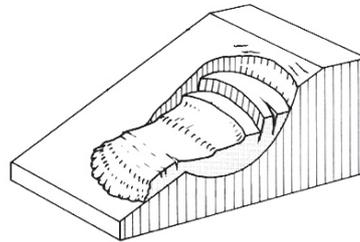
Rutschungen sind hangabwärts gerichtete, gleitende Bewegungen von Hangteilen aus Fest- und/oder Lockergestein. Sie sind das Ergebnis eines Scherbruches entlang von fortlaufenden kreisförmigen, ebenen oder beliebigen Gleitflächen, oder entlang von verhältnismässig dünnen Zonen intensiver Scherverformung.

Ausser der Schwerkraft, dem eigentlichen Motor der Bewegung, spielt bei Rutschungen das Wasser meist eine wichtige Rolle, sei es durch die Wirkung von Porenwasserdrücken, von Sickerströmungen oder von Quelldrücken infolge des Quellens von Tonmineralien. Allgemein bewirkt Wasser eine Verminderung der Kohäsion in Materialien.

Je nach Auslösung, Geschwindigkeit oder Wassergehalt sind mehrere Prozesse zu unterscheiden, welche jeweils spezifische Eigenschaften aufweisen.

4.1.1 Permanente Rutschungen

Die Geschwindigkeit von Rutschungen kann im Laufe der Zeit stark variieren. So folgen relativ ruhige Phasen und Phasen mit höheren Geschwindigkeiten aufeinander. Auf lange Zeit gesehen kann aber das Verhalten einer Rutschung einer konstanten Bewegung (so genannte «permanente» Rutschungen) gleichgestellt werden. Die Langzeitgeschwindigkeiten variieren im Bereich von Millimetern zu Metern pro Jahr, und in besonderen Fällen können die Verschiebungen sogar mehrere Meter pro Tag erreichen.



Quelle: irc.nrc-cnrc.gc.ca

Permanente Rutschung

Rutschung, die langfristig kontinuierliche Verschiebungen mit Beschleunigungs- und Reaktivierungsphasen aufweist.



Quelle: BRPA

4.1.2 Hangmuren und Spontanrutschungen

Diese Phänomene zeichnen sich durch eine plötzliche Auslösung («Bruch») und im Allgemeinen hohe Verschiebungsgeschwindigkeiten (m/h bis m/s) aus. Sie ereignen sich in der Regel auf recht steilen Hängen (> 25° - 30°).

Hangmuren und Hautrutsche (Spontanrutschungen) sind oft kleinräumige Phänomene. Sie kommen ausserhalb des hydrographischen Netzes vor und sind im Allgemeinen durch punktuelle Wasseraustritte aus dem Untergrund oder durch Sättigung des Erdreichs während intensiver Regenfälle bedingt. Ein einziger, heftiger Regenfall kann in einer Region eine Vielzahl von Hangmuren oder Spontanrutschungen generieren. Die zurückgelegten Distanzen sind sehr verschieden und hängen von der Topographie und dem Wassergehalt ab.



Quelle: BRPA



Quelle: BRPA

Hangmure

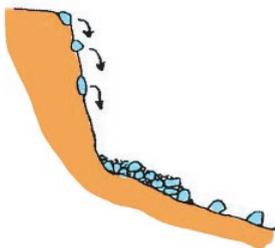
Schnelles Abfahren eines Gemisches aus Lockermaterial (lockerer Boden und Vegetationsbedeckung) und viel Wasser, ohne dass sich unbedingt eine Gleitfläche abzeichnet. Die von der instabilen Masse beschriebene Bewegung entspricht dem Abfliessen einer Flüssigkeit.

Spontanrutschung

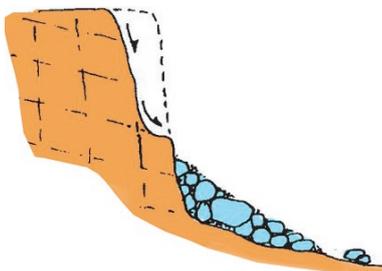
Rutschung, die spontan ausgelöst wird, mit momentan hohen Geschwindigkeiten. Der Wassergehalt ist zu gering um zu einer Verflüssigung des Materials zu führen, das eine gewisse Kohäsion beibehält. In der Regel kann eine Bruchfläche (Gleitfläche) beobachtet werden.

4.2 Steinschlag, Blockschlag, Felssturz

Stein- und Blockschlag



Felssturz



Quelle: www.brgm.fr

Bei Stein- und Blockschlag sowie Fels- und Bergsturz handelt es sich um plötzliche und schnelle Bewegungen von Gesteinsmassen. Die häufigsten Ursprünge solcher Phänomene sind Felswände und -hänge. Steine und Blöcke können auch lockeren Formationen entstammen (z.B. Moräne) oder in einem Hang neu mobilisiert werden.

Die Auslösung eines Phänomens in Zusammenhang mit Gestein wird durch die folgenden wesentlichen Faktoren verursacht:

- die geologischen Bedingungen (Art des Gesteins, Schichtfallen, usw.),
- den Grad der Fragmentierung des Gesteins (Natur und Ausrichtung der Diskontinuitäten wie Brüche und Spalten),
- klimatische Einwirkungen (Temperaturschwankungen mit Frost und Auftauen, Regen, Verwitterung, usw.),
- die Topographie.

Bäume können solche Prozesse durch ihr Wurzelsystem in Spalten und Rissen oder durch Hebelwirkungen beschleunigen oder auslösen.

Die Transit- und Ablagerungsbedingungen, sowie die Abgrenzung

dieser Zonen, sind durch folgende Hauptfaktoren bestimmt:

- die Eigenschaften des Blocks (Art des Gesteins, Masse, Zerkleinerung während des Sturzes, Form, usw.),
- die Topographie (Hangneigung, Hindernisse, usw.),
- die Natur der Böden (Lockermaterial, Fels, usw.),
- die Bewegungsart der Blöcke (Springen, Rollen, Rutschen), sowie die Wechselwirkungen zwischen den Blöcken,
- die Form und Dichte der Vegetation (Bäume können die Blöcke bremsen oder stoppen).

Stein- und Blockschlag

Unter Stein- und Blockschlag versteht man sporadisch auftretende, mehr oder weniger isolierte Stürze von Blöcken. Dieser sich wiederholende Prozess betrifft Volumen von bis zu 100 m^3 pro Ereignis.

Man spricht von:

- Steinschlag wenn der Durchmesser kleiner ist als 50 cm (also ca. $1/8 \text{ m}^3$ oder 300 - 400 kg);
- Blockschlag wenn der Durchmesser grösser ist als 50 cm.



Quelle: www.bdmag.com

Felssturz

Bei Felsstürzen löst sich ein grösseres Gesteinspaket von 100 m^3 bis $100'000 \text{ m}^3$ und stürzt plötzlich ab. Die Masse teilt sich beim Sturz mehr oder weniger und bildet einen Schuttkegel.

Bergstürze entsprechen einem vergleichbaren Phänomen, betreffen jedoch viel grössere Volumen ($> 1 \text{ Million m}^3$). Die Blöcke werden stark zerkleinert und es werden grosse Distanzen zurückgelegt. Bergstürze sind im Vergleich zu den Felsstürzen sehr selten.



Quelle: BRPA

4.3 Einsturz- und Sackungsphänomene

Die *Karte der Boden- und Hanginstabilitäten* erfasst auch weitere Phänomene, welche sich durch eine vertikale Bewegungskomponente kennzeichnen und allgemein weniger Schäden verursachen:

- Absenkungs- und Einsturzphänomene im Zusammenhang mit der Auslaugung eines löslichen Untergrundes (z.B. Gips, Rauhacke) oder infolge unterirdischer Hohlräume (z.B. Karsthohlräume). Typische Erscheinungsformen dieser Prozesse sind Dolinen.
- Verlandungssedimente, Torfzonen, See- oder Sumpf-/Moorablagerungen, usw., die unter dem Begriff «kompressible Böden» zusammengefasst werden und die setzungsempfindlich sind.

Doline

Als Doline bezeichnet man eine Senke von meist rundem oder elliptischen Grundriss, die aufgrund von unterirdischen Lösungen entsteht. Ihr Durchmesser liegt im Bereich einiger Meter bis einiger hundert Meter.



Quelle: www.upp.so-net.ne.jp

5. LEGENDE UND INHALT DER KARTE

Die Legende wurde in Abhängigkeit der Bedürfnisse und Anforderungen des Kantons ausgearbeitet, wie sie in der Vorstudie 1993 festgelegt wurden. Dabei wurden die im Kapitel 3 erwähnten laufenden Arbeiten berücksichtigt. Sie stellt die Instabilitätsprozesse in Abhängigkeit des Bewegungsmechanismus (Rutschung, Sturz, usw.), der Aktivität (relative Geschwindigkeit auf lange Zeit) und der Tiefe (Mächtigkeit der instabilen Masse) dar.

5.1 Rutschungen, Hangmuren, Spontanrutschungen, potentielle Rutschungen

Die Rutschungen, Hangmuren und potentiellen Rutschungen werden durch ihren Aktivitätsgrad und ihre Gründigkeit (Tiefe) bezeichnet. Die Aktivität ist durch Farben dargestellt. Die Tiefe wird graphisch mit sichelförmigen Signaturen wiedergegeben (s. Punkt 5.1.4).

5.1.1 Ausgewiesene Rutschungen

Die ausgewiesenen Rutschungen vereinen Gelände mit Hinweisen und Morphologien, die einen Rutschmechanismus kennzeichnen.

Ein grundlegendes Kriterium zur Beschreibung einer Rutschung ist ihr Aktivitätsgrad. Die Karte unterscheidet vier Stufen, die mit Hilfe von Farben die durchschnittliche Geschwindigkeit oder Verschiebung pro Jahr auf lange Zeit darstellen (siehe Punkt 4.1.1).

Alte, stabilisierte oder substabilisierte Rutschung



Als alte Rutschung kartierte Zonen weisen eine unregelmässige Morphologie auf, welche auf die frühere Aktivität der Rutschung hinweisen. Diese Sektoren, die als stabilisiert oder substabilisiert erscheinen, können mehr oder weniger plötzlich und mit unterschiedlicher Aktivität reaktiviert werden.

Wenig aktive (oder sehr langsame) Rutschung (geschätzte Geschwindigkeit < 2 cm/Jahr)



Diese Kategorie vereinigt den grössten Teil aller latenten Rutschungen, die auf dem Gelände nur wenig sichtbare Zeichen der Aktivität aufweisen. Als Erkennungsmerkmale können folgende aufgeführt werden:

- eine unregelmässige Morphologie,
- wenig hervorgehobene Anrissnischen,
- Anzeichen für Bodenrisse,
- die Vegetation ist kaum gestört, der Wald ist intakt,
- diffuse Wasseraustritte und Vernässungszonen,
- wenig Beschädigungen an Bauwerken (Häuser, Strassen).

Wenig aktive Rutschungen verursachen wenig oder gar keine Beschädigungen an oberflächlichen Bauwerken, erweisen sich aber, im Falle von mittelgründigen Rutschungen (2-10 m), für unterirdische Bauten als heimtückisch. Sie können auch reaktiviert werden, z.B. aufgrund von menschlichen Eingriffen (Geländeänderungen, Aushub, Aufschüttungen, usw.).

Aktive (oder langsame) Rutschungen (geschätzte Geschwindigkeit: 2-10 cm/Jahr)

Als Erkennungsmerkmale können u.a. folgende aufgeführt werden:

- konkave und konvexe Hangformen in Reihenfolge,
- gut sichtbare Anrissnische und Front der Rutschung,
- Zeichen von Aktivität (z.B. Sturzprozesse) in der Anrissnische,
- sichtbare, manchmal überwachsene Bodenrisse,
- etwas gestörte Vegetation, schräg stehende oder mit Druckholz korrigierte Bäume,
- Erosion an Wasserläufen,
- kleine Wasserläufe an den Rutschrändern, diffuse Quellen und Vernässungszonen,
- leichte Verformungen an Zäunen, Telefon- und Stromleitungen, kleine Risse und leichte Schäden an Strassen und Gebäuden.

Aktive Rutschungen beschädigen Vegetation und Infrastruktur. Diese Beschädigungen halten sich zwar in Grenzen, müssen aber mit angepassten Verbauungen und mehr oder weniger teuren Sanierungsarbeiten unterhalten werden.

Sehr aktive (oder schnelle) Rutschung (geschätzte Geschwindigkeit > 10 cm/Jahr)

Zu dieser Kategorie zählt man Rutschungen, deren hohe Aktivität durch basale oder laterale Erosion, ungünstige geologische, hydrogeologische oder topografische Verhältnisse aufrechterhalten wird. Die meisten Rutschungen mit Anzeichen von hohen temporären Reaktivierungen gehören zu dieser Kategorie.

Als Erkennungsmerkmale können u.a. folgende aufgeführt werden:

- hohe Aktivität in den Anrissnischen mit frischen Spuren rückschreitender Erosion und Sturzprozessen,
- Bodenrisse auf Zug oder Scherung, Bodenverformungen wie Stauchwülste,
- gestörte Vegetation: schräg stehende oder gefallene Bäume, gespannte Wurzeln,
- spontane Wasseraustritte, stark gestörtes hydrographisches Netz, Vernässungszonen, lokale Verflüssigung des Erdreichs,
- versetzte oder schräg stehende Strom- oder Telefonmasten mit unterschiedlich gespannten Drähten; erhebliche Schäden an Strassen und Gebäuden (Risse, Verformungen).

Infrastrukturen und Bauwerke sind von sehr aktiven Rutschungen stark gefährdet und bieten keine Möglichkeit der Wiederinstandsetzung. Sanierungsarbeiten sind umso schwieriger, je tiefer die Rutschung ist.

Bemerkung zur Einstufung der Aktivität

Bei der *Karte der Boden- und Hanginstabilitäten* ergibt sich die Einstufung der Aktivität einer Rutschung aus Feldbeobachtungen. Eine grosse Erfahrung auf dem Gebiet der Massenbewegungen vorausgesetzt, kann die Aktivität aus der Morphologie eruiert werden (nach oben genannten Kriterien).

Generell kann aber diese qualitative Einschätzung mit quantitativen und objektiven Oberflächenmessungen vervollständigt werden (s. Raetzo, 1997). Die Wahl der Messmethode hängt vom Ziel



der Untersuchung (sehr unterschiedliche Genauigkeiten) ab:

- Messband,
- Nivellement,
- Theodolit,
- GPS (Ortsbestimmung durch Satelliten),
- Photogrammetrie,
- usw.

Gewisse Instrumente zur Messung der Verschiebungen in der Tiefe (insbesondere Neigungsmesser) vervollständigen die Einschätzung der Aktivität der Rutschungen.

5.1.2 Hangmuren und Spontanrutschungen



Hangmuren und Spontanrutschungen werden im Prinzip einzeln angegeben. Bei starken Niederschlagsereignissen kommt es häufig vor, dass zahlreiche kleine Muren oder Rutschungen auf einer relativ beschränkten Fläche auftreten. In diesem Fall wird der gesamte betroffene Bereich umfasst und auf der Karte in seiner Gesamtheit dargestellt (Generalisierung).

5.1.3 Potentielle Rutschungen



Es werden hier Zonen beschrieben, bei denen die Möglichkeit von spontaner Bildung von Rutschungen, Hangmuren und Spontanrutschungen besteht. Im Zeitpunkt der Felderhebung wurde in diesen Zonen kein Hinweis auf eine frühere Instabilität gefunden.

Als Entscheidungskriterien können u.a. folgende aufgeführt werden:

- in der Nähe befindet sich eine ausgewiesene Rutschung, deren Ausmass zunehmen könnte (z.B. durch rückläufige Bewegungen am Rande oder oberhalb der Abrissnische); in diesem Falle entspricht die Zone der potentiellen Rutschung der Ausdehnung einer denkbaren ausgewiesenen Rutschung,
- bestehende, ähnliche Phänomene in der Einflusszone,
- Gegenwart von Lockersediment mit schwacher Kohäsion,
- eine starke Hangneigung,
- unter dem Gesichtspunkt der Stabilität ungünstige geologische und/oder hydrogeologische Verhältnisse.

5.1.4 Tiefe

Die oben beschriebenen Instabilitäten (Abschnitte 5.1.1 bis 5.1.3) können auch durch ihre Tiefe (Gründigkeit, Mächtigkeit der instabilen Massen) gekennzeichnet werden. Diese Tiefe wird durch sichelförmige Signaturen dargestellt, die der Grundfarbe zur Beschreibung des Prozesses und seiner Aktivität überlagert werden.

Flachgründige Rutschung (geschätzte Tiefe < 2 m)



Flachgründige Rutschungen beeinflussen die Oberflächenschichten von generell steilen Zonen, die aus wenig kohäsivem Material bestehen. Phänomene der Solifluktion gehören auch zur Gattung der flachgründigen Rutschungen.

Mittelgründige Rutschung (geschätzte Tiefe: 2-10 m)

Mittelgründige Rutschungen betreffen meistens die Lockersedimentschicht (oder zersetztes Gestein) mit relativ hohem Anteil an Tonmineralien. Es kann sich dabei um Randzonen von tiefgründigen Rutschungen handeln.



Tiefgründige Rutschung (geschätzte Tiefe > 10 m, bis mehr als 100 m)

Tiefgründige Rutschungen betreffen mehr oder weniger zersetzte oder dislozierte Massen, manchmal ist das Gestein des Untergrunds inbegriffen. Es handelt sich dabei um grossräumige Rutschungen, die ganze Berghänge (oder Teile davon) umfassen und beachtliche Volumina verschieben.



Bemerkung zur Abschätzung der Tiefe

Im Rahmen der *Karte der Boden- und Hanginstabilitäten* stützt sich die Einstufung der Mächtigkeit einer Rutschung (oder Tiefe der Gleitfläche) auf die Deutung natürlicher Gegebenheiten des Geländes (Geologie, Geomorphologie, Topographie, geometrische Kriterien, usw.).

Generell kann diese qualitative Einschätzung mit quantitativen, ergänzenden Messungen präzisiert werden:

- Geophysikalische Messungen:
 - VLF-EM (very low frequency-electromagnetic),
 - VLF-R (very low frequency-resistivity),
 - Reflexionsseismik,
 - Refraktionsseismik,
- Bohrlöcher mit Inklinometerrohren,
- usw.

5.2 Steinschlag, Blockschlag, Felssturz, Bergsturz

Im Rahmen dieses systematischen Inventars stützt sich die Evaluation von Sturzprozessen auf die qualitative Analyse der Lithologie, der Trennflächen (Schichtung, Schieferung, Frakturierung), der Tektonik, des morphologischen Kontextes, usw. Die Bestimmung des potentiellen Herkunftsbereichs wurde ohne Strukturanalyse durchgeführt (z.B. Rouiller et al. 1996). Die Ausdehnung des gefährdeten Bereichs (Transit- und Ablagerungszonen) basiert auf in der Vergangenheit und noch heute erreichte Ablagerungszonen («stumme Zeugen»). Es wurde in diesem Kontext keine Modellierung durchgeführt (Methode der Pauschalgefälle, 2D oder 3D Sturzbahnmodellierung, usw.). So beinhaltet die Karte bei Stein- und Blockschlag keinen vorausschauenden Charakter, und gibt ein unvollständiges Bild der tatsächlichen Situation in Bezug auf Sturzphänomene ausgesetzte Gebiete wieder.

Es wurden Anriss- (bzw. Herkunfts-), Durchgangs- und Ablagerungsbereiche, sowie Stutzbahnen des Materials unterschieden.

5.2.1 Anriss-/Herkunftsbereich

Zonen mit durch Zerfall des Gesteins entstehenden plötzlichen Phänomenen, die zu repetitiven Sturzprozessen unterschiedlichen Volumens führen (Steinschlag, Blockschlag, Felssturz, Bergsturz) wurden hier kartiert.



5.2.2 Durchgangs- und Ablagerungszonen

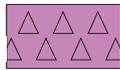
Die in Vergangenheit und Gegenwart erreichten Bereiche werden erfasst. In Abhängigkeit des Prozesses unterscheidet man die Ablagerungszonen von Stein-/Blockschlag und Fels-/Bergsturz (s. Definitionen unter Punkt 4.2).

Steinschlag und Blockschlag



Es handelt sich um stückweise, aber wiederholt stürzende Steine (Durchmesser < 50 cm) und Blöcke (Durchmesser > 50 cm), die sich von einem umgrenzten Anrissbereich lösen. Die Ablagerungszone ist kegel- oder fächerförmig, und ihre Fläche weist in der Regel eine beschränkte Ausdehnung auf, wobei sie umso grösser ist je steiler die Neigung und kleiner die Rauigkeit des Hanges sind.

Felssturz und Bergsturz



Diese Phänomene werden graphisch durch eine überlagerte Signatur gekennzeichnet.

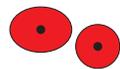
5.2.3 Sturzbahn des Materials



Es handelt sich hierbei um die bevorzugte Linie zwischen Herkunftsbereich und Ablagerungszone, die das Material durchläuft, ohne sich abzulagern.

5.3 Einsturz- und Sackungsphänomene

5.3.1 Doline oder Dolinengruppe



Es wird der Einsturzbereich auf löslichem Untergrund (z.B. Gips) oder auf unterirdischen Aushöhlungen (z.B. Karst) dargestellt. Dolinen werden individuell kartiert. Im Falle einer generellen Tendenz zum Einsturz (Dolinengruppe), wird der gesamte Bereich zusammengefasst.

5.3.2 Potentielles Absenkungsgebiet auf kompressiblem Untergrund



Gebiete mit Torfvorkommen, See- und Sumpfablagerungen, Mooren (entwässert oder nicht) werden unter dieser Bezeichnung zusammengefasst. Diese Bereiche können von Setzungsphänomenen betroffen sein, insbesondere wenn Wasser hoch gepumpt wurde oder als Folge von Auflasten (Gebäude, Strassen, usw.).

5.4 Morphologie

Als morphologische Hinweiszeichen wurden dargestellt:

Anrissnische

Anrissnischen befinden sich im oberen Teil einer Rutschung und markieren die Grenze zwischen stabilen Bereichen und der Rutschung oder die Grenze zwischen zwei Rutschkörpern mit verschiedenen Charakteristika. Einzig gut ersichtliche, aktive oder klar individualisierte Anrissnischen wurden kartiert. Zusätzlich zu der typisch «treppenförmigen» Struktur sind bei den Aktivitätszeichen u.a. zu beobachten: die Freilegung des Erdreichs (rückschreitende Erosion), Sturzprozesse und Bodenrisse. Ist die Aktivität verlangsamt, verlieren sich die Zeichen allmählich und die Anrissnische wird mehr oder weniger von Vegetation überwachsen.



Quelle: BRPA

Sackung

Es handelt sich um Sektoren oder Hangpartien in kompakten Gesteinen, die von gravitären Bewegungen mit vertikaler Hauptkomponente entlang einer Diskontinuität (Bruch) geprägt sind. Abgesackte Massen befinden sich oft bergseits von Rutschungen oder auf Bergkämmen, die von Rutschungen umgeben sind. Der Übergang vom Sackungsmechanismus zum Rutschmechanismus ist progressiv.



Quelle: Noverraz, EPFL

Wulst

Frontwülste sind gewölbte, bauchige Anhäufungszonen, die man am Fusse von Rutschungen beobachten kann. Rutschfronten können sich innerhalb der Rutschmasse ausbilden (Teilrutschungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten), oder stabiles Gelände unterhalb der bewegten Masse überfahren. Sie können manchmal fächerförmig ausgebildet sein und einen ausgedehnten Akkumulationskegel bilden.



Quelle: BRPA

6. BENUTZUNG UND GRENZEN

Die *Karte der Boden- und Hanginstabilitäten* stellt eine Bilanz zum Stand der Stabilität oder Instabilität der Gelände zum Zeitpunkt der Felderhebung (1993 – 1999) auf. Definitionsgemäss ändern sich die natürlichen Begebenheiten, und so könnte mit der Zeit an einem bestimmten Standort die tatsächliche Situation im Gelände vom in der Karte beschriebenen Stand abweichen. Das Gesamtbild der Stabilität eines Bereichs, wie es in der Karte beschrieben ist, bleibt nichtsdestoweniger dauerhaft aussagekräftig.

Die Karte beruht auf qualitativen Oberflächenbeobachtungen, und beinhaltet so unvermeidlicherweise eine gewisse Subjektivität. Die Erfahrung zeigt, dass die Ungewissheiten in Bezug auf die Tiefe der Rutschungen bedeutender sind als in Bezug auf die Aktivität. Die Umrissse der verschiedenen instabilen Massen, sowie die Trennlinien zwischen den stabilen und instabilen Bereichen weisen eine hohe Genauigkeit auf.

Die Karte stellt Instabilitätsphänomene dar und beschreibt sie. Man kann von ihr nicht direkt auf Konsequenzen oder

Massnahmen schliessen. Sie wird als Grundlage im Sinne des Raumplanungsgesetzes betrachtet, und ist als solche nicht rechtsverbindlich. Es handelt sich um einen ersten Schritt auf dem Weg zur Berücksichtigung der Naturgefahren in der Raumplanung und zur Massnahmenplanung. Diese Karte dient so als Basis für die Erstellung der Gefahrenkarte im Bereich der Massenbewegungen (Rutschungen und Sturzprozesse).

Die Karte kann indessen bei Projekten und Planungen eine wertvolle Entscheidungshilfe für die kantonalen, regionalen und kommunalen Behörden darstellen. Sie bietet auch dem Bau- und Ingenieurwesen (Architekten, Ingenieure, Geologen, usw.) wertvolle Hinweise zur den Stabilitätsverhältnissen angepassten Dimensionierung von Bauwerken.

7. ABLAGE, NACHFÜHRUNG

Die Originale der Geländekarten (1:10'000) werden im Institut für Geologie der Universität Freiburg archiviert und bilden für den Zeitpunkt der Feldaufnahmen die Referenz der Massenbewegungen (Rutschungen und Sturzprozesse) im Kanton Freiburg. Die gesamte Karte kann im Internet («Geoportal des Kantons Freiburg»), im Bau- und Raumplanungsamt, im Amt für Wald, Wild und Fischerei, sowie in der Bibliothek des Instituts für Geologie der Universität Freiburg eingesehen werden.

Es ist keine systematische Nachführung des Inhalts der Karte vorgesehen. Bei bedeutenden Veränderungen in einem beschränkten Bereich wird eine Anpassung der Karte gemacht werden können. In diesem Fall wird nur die auf Internet einsehbare digitale Version aktualisiert. Auf der Website des Bau- und Raumplanungsamtes (www.fr.ch/seca, Sparte «Geologie und Naturgefahren» unter «Abteilung kantonale Planung») findet sich ein Überblick über die Nachführungen.

KONTAKT

Zuständige Ämter für ergänzende Informationen:

NGK Naturgefahrenkommission
p.A. BRPA, Chorherrengasse 17, Postfach
1701 Freiburg,
036/305 36 13

BRPA Bau- und Raumplanungsamt
Chorherrengasse 17, Postfach
1701 Freiburg,
036/305 36 13
www.fr.ch/seca/

LITERATURHINWEISE

- Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten - Empfehlungen - Reihe Naturgefahren (1997). Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL); Bern, 43 Seiten.
- Bollinger, D. & Noverraz, F. (1996): Pilotstudie - Karte der Bodenbewegungsgefahren 1:25'000, Blatt 1247 Adelboden. Landeshydrologie und -geologie (LHG/BUWAL), Geologische Berichte 20; Bern.
- Détection et utilisation des terrains instables DUTI - Projet d'école (1985). Rapport final. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne; Lausanne, 229 p.
- Lateljin, O., Beer C., Raetzo, H. & Caron C. (1997): Instabilités de pente en terrain de flysch et changements climatiques. Schlussbericht NFP 31, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 168 Seiten.
- Loup, B. & Caron, C. (1993): Carte d'inventaire des terrains instables du canton de Fribourg - Pré-étude. Vorstudie im Auftrag der Baudirektion des Kantons Freiburg, unveröffentlicht; Freiburg, 34 Seiten.
- Loup, B. (1994): Cartographie des instabilités de terrain dans la région de Semsales, Préalpes fribourgeoises. Pilotstudie im Auftrag der Landeshydrologie und -geologie, unveröffentlicht; Freiburg, 28 Seiten.
- NFP31 - Nationales Forschungsprogramm Klimaänderungen und Naturkatastrophen. Wissenschaftlicher Schlussbericht, Syntheseberichte, Arbeits- und Forschungsberichte (1993 - 1998). Georg, Genf & vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich.
- Raetzo-Brühlhart H. (1997): Massenbewegungen im Gurnigelflysch und Einfluss der Klimaänderung. Arbeitsbericht NFP 31, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich; Zürich, 256 Seiten.
- Rouiller, J.D., Marro, Ch., Jaboyedoff, M., Philipposian, F. & Mamin, M. (1996): Distribution spatiale des discontinuités dans une falaise - Approche statistique et probabiliste. Arbeitsbericht NFP 31, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich; Zürich, 90 Seiten.
- Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, Ausgabe 1995 - Empfehlungen. Reihe Naturgefahren (1995). Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL); Bern, 19 Seiten.
- Vorläufige Übersichtskarte der Rutschgebiete, 1:50'000, mit Erläuterungsbericht (1976). Baudirektion des Kantons Freiburg, Kantonale Kommission für die Erstellung eines Lawinenkatasters, Kantonales Amt für Raumplanung, Geologisches Institut der Universität Freiburg; Freiburg.