Bundesamt für Wasser und Geologie

Gefahreneinstufung Rutschungen i.w.S.

Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren

ENTWURF

D. Bollinger
H.R. Keusen (Vorsitz)
H. Rovina
A. Wildberger
R. Wyss

Zollikofen, 24. März 2004

SFIG - SCHWEIZERISCHE FACHGRUPPE FÜR INGENIEURGEOLOGIE
GSGI - GROUPEMENT SUISSE DE LA GEOLOGIE DE L'INGENIEUR
Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren
Groupe de travail Danger naturel et Géologie
AGN - DNG

Adresse: AGN-DNG, Präsident Dr. H.R. Keusen
GEOTEST AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen
Tel. 031 / 910 01 01, Fax 031 / 910 01 00
E-Mail: zollikofen@geotest.ch

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Ausgangslage, Auftrag BWG 3
2. Bisherige Methodik (Empfehlungen Bund 1997), Handlungsbedarf 3
3. Grundsätze, Vorgehen, Begleitgruppe 4
3.1 Grundsätze 4
3.2 Vorgehen 4
3.3 Expertengruppe 4
4. Klassifikation der Rutschungen i.w.S. 5
5. Gefahreneinstufung Rutschungen 6
5.1 Prozessverständnis 6
5.2 Bisherige Methodik (Empfehlungen BUWAL, BWG, BRP 1997) 7
5.3 Vorschlag AGN 7
5.3.1 Ansatz 7
5.3.2 Gefahrenstufen-Diagramm permanente Rutschungen 9
6. Gefahreneinstufung spontane Rutschungen 11
6.1 Prozessverständnis 11
6.2 Disposition 12
6.3 Einstufung des Gefahrenpotenzials 12
7. Gefahreneinstufung Hangmuren 12
7.1 Bisherige Methodik 13
7.2 Vorschlag AGN 13
8. Kommentar, Folgerungen 16
9. Empfehlungen der AGN 17

Anhang

Nr.

Gefahrenstufendiagramme Bund 1997 1
Neue Methodik AGN permanente Rutschungen 2.1 - 2.2
Gefahreneinstufung Hangmuren: Disposition 3
Gefahreneinstufung Hangmuren: Intensität 4
Fallbeispiel Grindelwald 5
Fallbeispiel Braunwald 6
Fallbeispiel Lugnez 7

1. Ausgangslage, Auftrag BWG

Zurzeit sind praktisch in der ganzen Schweiz Arbeiten für die Erstellung von Gefahrenkarten im Gange. Die jüngsten Naturgefahrenereignisse beschleunigen diese Arbeiten. Methodische Grundlage für die Einstufung der Gefahren verschiedener Naturprozesse bilden die Empfehlungen des Bundes von 1997: "Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten" und "Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.

Bei der Bearbeitung des schwierigen Prozesses Rutschung zeigten sich in jüngster Zeit Probleme der Gefahreneinstufung. Der in den oben erwähnten Empfehlungen bestehende Ansatz wird von Fachleuten z.T. als zu wenig differenziert empfunden. Die Folge ist die Etablierung neuer Ansätze, die regional (Kt. SG, Kt. FR, Kt. GL) eingesetzt werden.

Der dadurch entstehende Zustand, dass die Gefahrenbeurteilung der Rutschungen regional unterschiedlich gehandhabt wird, ist unbefriedigend.

Die AGN wurde deshalb aktiv, um hier einen schweizerischen Konsens in der Gefahrenbeurteilung der Rutschungen zu erarbeiten.

Nach einem Gespräch der AGN mit Vertretern des BUWAL und des BWG erteilte das BWG der AGN den Auftrag, in einem ersten Schritt das Problem "permanente Rutschungen" anzugehen und die von der AGN erarbeitete Methodik an geeigneten Fallbeispielen zu testen. In der Folge erhielt die AGN vom BWG den Auftrag, auch den Prozess Hangmuren und spontane Rutschungen zu behandeln. In die Studie sollten verschiedene externe Experten einbezogen werden.

2. Bisherige Methodik (Empfehlungen Bund 1997), Handlungsbedarf

Die Empfehlungen Bund (Anhang 1) unterscheiden nur "Rutschungen" (gemeint sind permanente Rutschungen) im Einsäulendiagramm und "Hangmuren" im 9 - Felderdiagramm. Der Prozess spontane Rutschungen fehlt. Die Intensität der "Rutschungen" wird aufgrund ihrer Geschwindigkeit sowie des Auftretens differenzieller Bewegungen eingestuft. Bei den Hangmuren fliessen die Mächtigkeit der Ablagerung oder die potenzielle Mächtigkeit der durch eine Hangmure mobilisierbaren Lockergesteine als Intensität ein. Die eingesetzten tiefen Grenzwerte führen hier dazu, dass Hangmuren zwangsläufig fast immer in die höchste Intensität fallen und daraus ein Rot resultiert. Diese Einstufung ist sehr streng, wenn man bedenkt, dass Hangmuren häufig und relativ mit einem einfachen Objektschutz begegnet werden kann.

Obschon sich die Methodik des Bundes grundsätzlich bewährt hat, führten einzelne Kantone eigene Gefahreneinstufungen ein. Das auffälligste Merkmal war die Berücksichtigung der Tiefe von (permanenten) Rutschungen im Sinne einer Verschärfung der Gefahr bei zunehmender Tiefgründigkeit. Wie in der Folge gezeigt wird, ist dieser Ansatz falsch.

Aus der Sicht der AGN ergibt sich folgender Handlungsbedarf:

- Einführung des Prozesses **spontane Rutschungen**.
- Klare **Prozessunterscheidung** und **differenzierte Gefahreneinstufung** von permanenten Rutschungen, spontanen Rutschungen und Hangmuren.
- Berücksichtigung zusätzlicher Faktoren bei permanenten Rutschungen wie differenzielle Bewegungen, **Reaktivierung** und **Gründigkeit**.
- Evtl. moderatere Einstufung der **Intensität** von Hangmuren.

3. Grundsätze, Vorgehen, Begleitgruppe

3.1 Grundsätze

Ziel der Arbeit war es, die Empfehlungen des Bundes von 1997, wo erforderlich, in sinnvoller Weise zu **ergänzen**. Keinesfalls sollte die im Grossen und Ganzen gute Methodik völlig geändert werden. Gesucht waren pragmatische Ansätze, welche auf die praktische Bearbeitung von Gefahrenkarten ausgerichtet sind und eine breite Akzeptanz finden.

Die AGN konnte sich bei ihrer Studie auf a) die Erfahrung bei der Bearbeitung von Gefahrenkarten und b) auf die neusten Erkenntnisse aus den Unwettern Sachseln (1999), Napf, Appenzell, Graubünden (2002) abstützen.

3.2 Vorgehen

In einem ersten Schritt erarbeitete die AGN eine Methodik für die Gefahreneinstufung **permanenter** Rutschungen und stellte das Ergebnis der Begleitgruppe am 24.4.2003 vor.

Die Diskussion zeigte, dass der von der AGN dargestellte Ansatz betreffend der Berücksichtigung der **Tiefe** noch nicht voll befriedigte. In der Folge überarbeitete die AG die Methodik und stellt sie hier mit einem etwas pragmatischeren Ansatz vor.

Gleichzeitig wird auch die Methodik zur Gefahrenbeurteilung der übrigen beiden Unterprozesse **spontane Rutschungen** und **Hangmuren** behandelt.

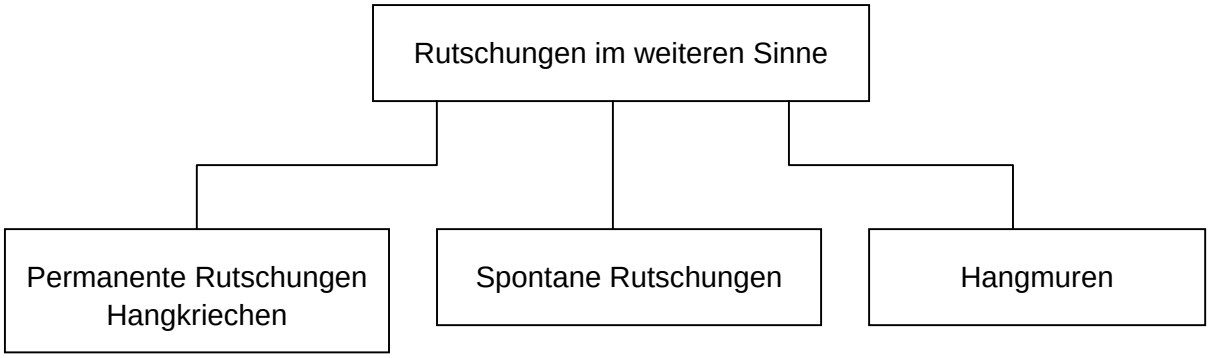
3.3 Begleitgruppe

Für die Begleitgruppe wurden für die Diskussion folgende Fachleute einbezogen:

Dr. O. Lateltin	Th. Rageth
Dr. B. Loup	Dr. K. Louis
Prof. Dr. H. Kienholz	Dr. B. Keller
Prof. Dr. Ch. Bonnard	Dr. Ch. Wilhelm
J. Häberle	Dr. P. Greminger

4. Klassifikation der Rutschungen i.w.S.

Im Hinblick auf die Gefahrenbeurteilung ist die folgende vereinfachte Klassifikation der Rutschungen i.w.S. zweckmässig:



Permanente Rutschungen (kontinuierliche Rutschungen): Rutschungen, die sich über lange Zeiträume gleichmässig hangabwärts bewegen. Die Bewegungen erfolgen entweder längs mehr oder weniger deutlich ausgebildeter, bestehender Gleitflächen oder längs bestehender Zonen verstärkter Scherdeformation.

Hangkriechen: Über lange Zeiträume anhaltende, langsame Verformungen im Lockergestein oder Fels. Dabei finden bruchlose, kontinuierliche Verformungen und/oder ein diskontinuierliches Kriechen mit Gleitvorgängen auf zahlreichen Kleinsttrennflächen statt.

Spontane Rutschung: Lockergesteinsmasse, die infolge eines plötzlichen Verlustes der Scherfestigkeit unter Ausbildung einer Bruchfläche (= Gleitfläche) relativ schnell abgleitet. Der Begriff „Sekundärrutschung“ beinhaltet die Bezeichnung „spontane Rutschung“ nur zum Teil; er impliziert nämlich, dass die Rutschung innerhalb eines bereits existierenden Rutschgebietes erfolgt. Bei spontanen Rutschungen bildet sich stets eine neue Gleitfläche bzw. Bruchfläche aus, was sie von permanenten Rutschungen unterscheidet.

Hangmuren: Relativ rasch abfliessendes Gemisch aus Lockergestein (oft nur der Boden und die Vegetationsbedeckung) und Wasser.

Die 3 Prozesse beinhalten unterschiedliche Gefahrenpotenziale und bedingen ein differenziertes Gefahren- und Risikomanagement.

Das Gefahrenpotenzial berücksichtigt bei spontanen Rutschungen und Hangmuren die **Eintretenswahrscheinlichkeit des Ereignisses**. Diese fehlt bei permanenten Rutschungen, da diese kontinuierlich ohne spontanen, zeitlich definierbaren Bruch ablaufen. Die drei Prozesse werden in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben.

5. Gefahreneinstufung permanente Rutschungen

5.1 Prozessverständnis

Permanente Rutschungen bewegen sich über lange Zeiträume (viele Jahre, Jahrtausende) mehr oder weniger gleichmässig, ohne dass es zu einem spontanen Abgang kommt. Solche Rutschungen sind in den Alpen häufig. Ihre Entstehung geht nicht selten auf die Zeit des Rückzugs der Gletscher zurück. Einige Beispiele sind:

Ort	**Tiefe** (in m)	**Volumen** (Mio m^3)	**Alter**	**Sekundärrutschungen**
Triesen, Triesenberg FL	10 - 100	500	> 5'000 J	ja
Gryfenbach BE	10 - 70	20	5'000 J	ja
Grindelwald BE	10	~10	?	
Braunwald GL	~50	~200		ja
Burglauenen BE	10 - 30	0.7	> 5'000 J	ja
Hohberg FR	10	5	?	
Ischenberg NW	bis 100	mehrere 10		ja

Permanente Rutschungen können Zonen differenzieller Bewegungen aufweisen und Phasen der (Re)Aktivierung durchlaufen.

Unter (Re)Aktivierungen werden Phasen mit signifikanter Beschleunigung der langjährigen durchschnittlichen Rutschgeschwindigkeit verstanden. Auslöser dazu bilden beispielsweise aussergewöhnliche Witterungsverhältnisse (z.B. nasses Frühjahr nach schneereichem Winter, vgl. Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999. - Bull. angew. Geol. 5/1, September 2000) oder Erosion am Rutschfuss infolge Bacherosion).

Differenzielle Bewegungen treten bevorzugt in Grenzbereichen von Zonen unterschiedlicher Rutschgeschwindigkeit und/oder -bewegungsrichtung auf. Sie setzen sich in der Regel aus einer horizontalen und einer vertikalen Komponente zusammen. Neben seitlichen Randbereichen mit Scherbewegungen sind auch jene Zonen zu beachten, in denen die Bewegungen bevorzugt zu Extension (Phänomen: Zerrspalten) oder Kompression (Phänomen: Stauchwülste) des Untergrundes führen.

Permanente Rutschungen werden oft von spontanen Sekundärrutschungen begleitet. Diese Prozesse müssen speziell behandelt werden. Sie stehen zwar kausal mit der übergeordneten permanenten Rutschung in Zusammenhang. Ihr Gefahrenpotenzial ist in der Regel jedoch viel grösser.

5.2 **Bisherige Methodik** (Empfehlungen BUWAL, BWG, BRP 1997)

Das Gefahrenstufen-Diagramm der Empfehlungen verwendet für die Klassierung hauptsächlich die Intensität bzw. Aktivität einer Rutschung. Die Kriterien für schwache, mittlere und starke Intensität sind in der Tabelle auf S. 26 der Empfehlungen zusammengefasst.

Langfristige, jährliche Durchschnittsbewegungen bis zu 2 cm/Jahr sind kennzeichnend für eine schwache, Bewegungen bis zu einigen dm/Jahr für eine mittlere Intensität. Eine starke Intensität bleibt vorbehalten für Zonen, in denen ausgeprägte Scherbewegungen bzw. Differenzialbewegungen stattfinden. Eine starke Intensität kann auch dann zugeordnet werden, wenn starke Reaktivierungen beobachtet wurden oder in lokalisierten Bereichen Verschiebungen von > 1 m pro Ereignis eintreten können. Ferner kann die starke Intensität für oberflächliche Rutschungen mit hohen Bewegungsraten (> 0.1 m/Tag) verwendet werden.

Die Empfehlungen liefern keine Hinweise dazu, was unter ausgeprägten Scher- bzw. Differenzialbewegungen und starken Reaktivierungen zu verstehen ist. Ebenso werden keine Angaben zur Berücksichtigung potenzieller (Re)Aktivierungen gemacht.

Die Vorgaben des Bundes lassen dem Ersteller einer Gefahrenbeurteilung einen recht grossen Spielraum bei der Interpretation von Kriterien, die eine starke Intensität - und bei der Umsetzung in die Gefahrenkarte - eine rote Gefahrenstufe zur Folge haben. Nach strikter Auslegung der Empfehlungen sind rutschbedingte blaue und gelbe Gefahrenzonen nur dann möglich, wenn es sich um streng kontinuierliche Rutschungen handelt.

Gemäss den Empfehlungen handelt es sich bei den Rutschungen um mehrheitlich kontinuierliche Prozesse. Eine Eintretenswahrscheinlichkeit im engeren Sinn existiert daher nicht. Dagegen wird darauf hingewiesen, dass aktive Rutschphasen oft witterungsbedingt sind und daher der Eintretenswahrscheinlichkeit besonderer Witterungsverhältnisse (z. B. anhaltende Niederschläge) unterliegen. Es wird davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit der Beschleunigung einer permanenten Rutschung umso höher ist, je grösser die mittlere Bewegungsgeschwindigkeit ist. Die beobachteten langfristigen Verschiebungsraten werden als Mass für die Wahrscheinlichkeit differenzieller Bewegungen und (Re)Aktivierungen betrachtet, so dass die Gefahrenbeurteilung letztlich einzig anhand des Kriteriums Intensität erfolgen kann.

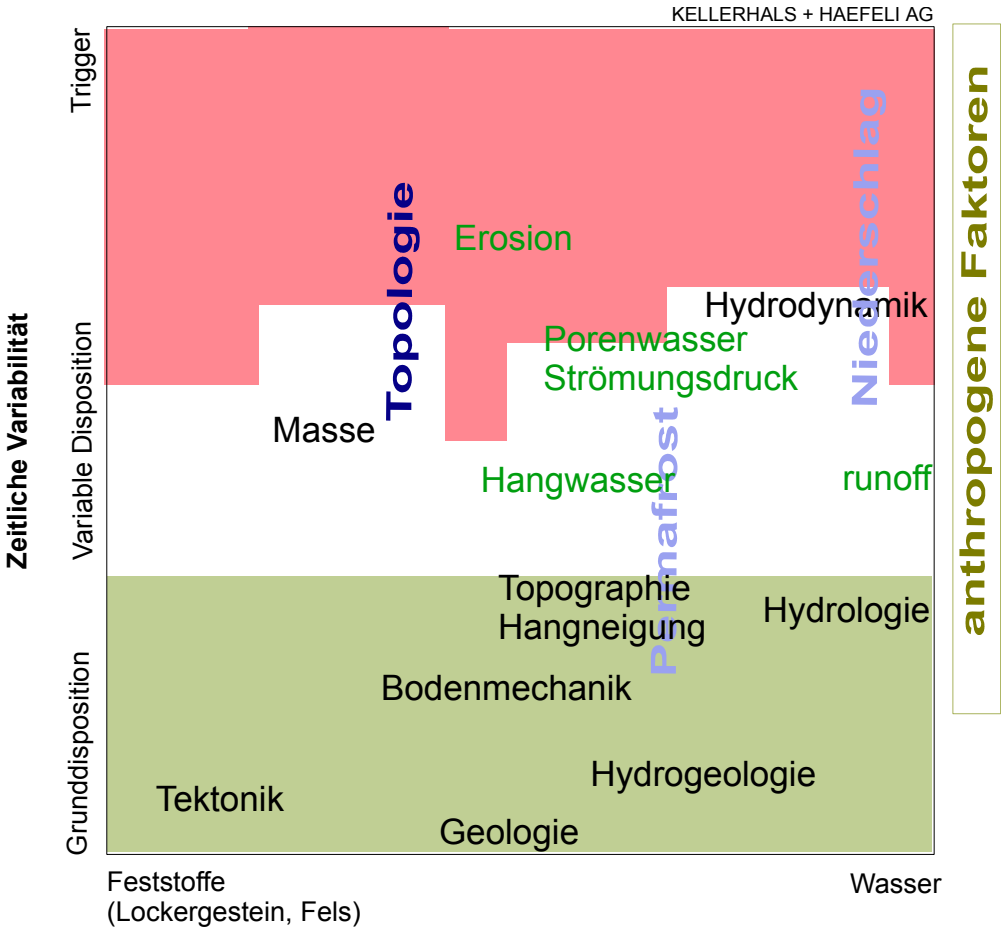
Fazit: Die Empfehlungen basieren allzu stark auf den langjährigen durchschnittlichen Bewegungsraten. (Re)Aktivierungen und differenzielle Bewegungen können berücksichtigt werden, wenn sie „stark“ respektive „ausgeprägt“ sind (Kriterien dazu fehlen). Sie haben eine starke Intensität bzw. eine rote Gefahrenstufe zur Folge. Die Möglichkeit schwächerer Differenzialbewegungen und schwächerer (Re)Aktivierungen findet keinen Eingang in die Gefahrenbeurteilung. Die Wahrscheinlichkeit wird nicht als Kriterium verwendet.

5.3 Vorschlag AGN

5.3.1 Ansatz

Rutschungen werden von vielen Faktoren beeinflusst. Die folgende Figur des Wasser-Feststoff-Systems stellt verschiedene Einflussfaktoren dar, die in unterschiedlicher Weise die Disposition zu Hangbewegungen beeinflussen. Insbesondere die in der oberen Hälfte der Figur

positionierten Faktoren wirken sich in Abhängigkeit der Gründigkeit der Hangbewegung unterschiedlich aus. Je flachgründiger die Rutschung, umso mehr verschieben sich die jeweiligen Positionen nach oben (in Richtung Trigger).



Grün = von Vegetation beeinflusste Faktoren
Erdbeben als zusätzlicher Trigger nicht dargestellt

Im Rahmen der Gefahrenbeurteilung auf Stufe Gefahrenkarte ist es im Allgemeinen nicht möglich, die Komplexität von Rutschungen im Detail zu erfassen. Hingegen ist es möglich, die von Fall zu Fall verschieden wirkenden Einflussfaktoren - zu „Schlüsselgruppen“ zusammengefasst - in summarischer Art und Weise zu erfassen:

- „Schlüsselgruppe“ A: Bodenmechanische Aspekte inkl. Hangwasserverhältnisse (Beurteilung v.a. 3 D).
- „Schlüsselgruppe“ B: Oberflächenbeschaffenheit, Vegetation (Beurteilung v.a. 2 D).
- „Schlüsselgruppe“ C: Geometrie der instabilen Masse, Topologie zu anderen Rutschungen, Interaktionen mit Fliessgewässern (Beurteilung v.a. 3 D und zeitliches Verhalten).

Im Rahmen einer Gefahrenbeurteilung hat der Begutachter den stabilisierenden bzw. destabilisierenden Effekt dieser „Schlüsselgruppen“ zu bewerten. Sie beeinflussen die Disposition zu (Re)Aktivierungen und differenziellen Bewegungen. Diese Beurteilung zwingt dazu, die natürli-

chen Gegebenheiten, das raum-zeitliche Verhalten von Massenbewegungen und die Kausalität natürlicher Prozesse summarisch zu erfassen (vgl. auch: Leitbild der Arbeitsgruppe AGN, Bull. angew. Geol., Vol. 3/1, 145-149, Juli 1998).

Die „Schlüsselgruppen" wirken sich in Abhängigkeit der Gründigkeit einer Rutschung unterschiedlich auf die Gefahrenbeurteilung aus. Die Berücksichtigung des Tiefgangs einer Rutschung ist daher unerlässlich bei der Beurteilung der Disposition zu Reaktivierungen und differenziellen Bewegungen.

Der Ansatz der AGN basiert auf zwei Diagrammen: Dem für permanente bzw. kontinuierliche Rutschungen vorbehaltenen Diagramm ist das 9-Felder-Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm der Bundesempfehlungen gegenüber gestellt. Letzteres soll für spontane Rutschprozesse und Hangmuren (welche oft graduell in flachgründige Rutschungen übergehen können) verwendet werden.

5.3.2 Gefahrenstufen-Diagramm permanente Rutschungen (Anhang 2.1, 2.2)

Aufgrund der Ergebnisse der Sitzung mit der Begleitgruppe vom 24.4.2003 und im Bestreben, das 1-säulige Gefahrenstufen-Diagramm aus den Empfehlungen beizubehalten, wird die Klassierung permanenter Rutschungen nach folgenden Kriterien durchgeführt:

I. Intensität (gemäss Empfehlungen 1997)

II. (Re)Aktivierungspotenzial

III. Disposition zu Differenzialbewegungen

IV. Tiefgang

Neben der Intensität kann die Disposition einer Rutschung zu (Re)Aktivierungen und/oder differenziellen Bewegungen als zusätzliches Kriterium der Gefahrenbeurteilung verwendet werden. Dabei werden Aussagen zum Ausmass solcher Erscheinungen, nicht aber zu deren Wahrscheinlichkeit gemacht. Hinsichtlich des Ausmasses wird zwischen „stark" und „mittel" unterschieden. Ein „schwaches" Ausmass wird nicht speziell ausgeschieden, da es kaum vom Grundzustand einer Rutschung abgegrenzt werden kann.

I. Kriterium Intensität

Grundlage: Empfehlungen zur Berücksichtigung von Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (1997)

Schwache Intensität	Bewegungen $\leq$ 2 cm/J bzw. cm-Bereich/Jahr
Mittlere Intensität	Bewegungen > 2 cm/J bzw. bis wenige dm/Jahr
Starke Intensität	Bewegungen von einigen dm/Jahr oder darüber

II. Kriterium (Re)Aktivierungspotenzial

Die Anfälligkeit einer Rutschung zu (Re)Aktivierungen ist aufgrund einer summarischen Beurteilung der erwähnten „Schlüsselgruppen", Feldbefunden und bisherigen Erfahrungen aus

dem Rutschgebiet (Ereignisdokumentation → Geschichte der Rutschung, Messresultate) festzulegen.

Für das Ausmass potenzieller (Re)Aktivierungen gelten folgende Grössenordnungen:

Reaktivierung starken Ausmasses RR	dv > 10v
Reaktivierung mittleren Ausmasses R	2v < dv < 10v

dv = Rutschgeschwindigkeitsänderung (pro Ereignis)

v = Rutschgeschwindigkeit im langjährigen Durchschnitt

Eine starke Reaktivierung liegt beispielsweise dann vor, wenn eine Beschleunigung der Bewegungen (pro Ereignis) auf über das Zehnfache der langjährigen Durchschnittsgeschwindigkeit eintritt.

Bei der Beurteilung der Disposition einer Rutschung zu Reaktivierungen können unter anderem folgende Punkte eine Rolle spielen:

- **Wechselwirkung mit Fliessgewässern** (z. B. Erosion am Rutschfuss im Falle eines Hochwasserereignisses → Entlastung; verstärkte Infiltration von Bachwasser oberhalb, seitlich oder inmitten einer Rutschung).
- **Angrenzende Rutschung(en)** höherer Aktivität oder mit grösserem Reaktivierungspotenzial → Ausweitung auf andere Rutschungen.
- **Vegetationsbedeckung, Waldwirkung**: Auf einer Fläche mit Sturmschäden kann vermehrt Niederschlagswasser infiltrieren und zu einem Anstieg des Hangwasserspiegels führen (Beispiele nach Lothar sind bekannt).
- **Geschichte** einer Rutschung: Informationen über das frühere Verhalten einer Rutschung (Ereignisdokumentation, Morphologie).

III. Kriterium Differenzialbewegungen

Ausgeschieden werden Zonen einer Rutschung, die für Differenzialbewegungen disponiert sind. Zwecks besserer Nachvollziehbarkeit wird empfohlen, diese Zonen auf einer Karte der Phänomene darzustellen. Es werden zwei Stufen unterschieden.

Starke differenzielle Bewegungen DD	> 2 cm/m·J
Mittlere differenzielle Bewegungen D	< 2 cm/m·J

IV. Kriterium Tiefgang

Der Tiefgang einer Rutschung überträgt sich im Allgemeinen auf die Disposition zu (Re)Aktivierungen und Differenzialbewegungen. So reagiert eine flachgründige Rutschung schneller auf Änderungen einzelner Zustandsgrössen (vgl. „Schlüsselgruppen“) als eine tiefgründige.

Rutschungen mit grossem Tiefgang haben aufgrund ihres Volumens die Kapazität, Änderungen von Zustandsgrössen durch interne Deformationen zu puffern. In folgenden Fällen kann dann die Gefahrenbeurteilung entschärft werden (Rücksetzung um 1 Gefahrenstufe):

- Gleitfläche tiefer als 30 - 50 m u.T.
- Grössere, zusammen hängende, homogene Rutschmasse (> 10 ha).
- Phänomenologisch grössere homogene Bereiche.
- Homogenes Bewegungsverhalten (durch Messungen dokumentiert).

Die Kriterien (Re)Aktivierungspotenzial und Differenzialbewegungen führen im 1-Säulen-Diagramm für permanente Rutschungen je nach Ausmass (R/RR bzw. D/DD) zu einer Erhöhung des Kriteriums „Intensität“ um ein oder zwei Felder. Das Kriterium Tiefgang kann hingegen eine Reduktion der Gefährdung um ein Feld bewirken.

Die Kriterien (Re)Aktivierungspotenzial, Differenzialbewegungen und Tiefgang können einzeln oder in Kombination verwendet werden.

Darstellung

Zwecks Nachvollziehbarkeit der Gefahrenbeurteilung werden die Indizes, welche den Prozesstyp und die Feldnummer bezeichnen, um die Kürzel R/RR bzw. D/DD bzw. T ergänzt (z. B. $R3_{DD}$, $R1_{T}$, $R2_{RR,T}$). Die Feldnummer bezeichnet das Feld der Intensität (Startfeld). Aufgrund der Indizes kann nachvollzogen werden, wie der Gang der Einstufung erfolgte.

Beispiel: Bei einer mitteltiefen, substabilen Rutschung (R1) wird die Anfälligkeit zu differenziellen Bewegungen als „gross“ (DD) beurteilt. Dies hat eine Erhöhung der Gefahrenstufe von gelb zu rot zur Folge. Der Index $RM1_{DD}$ in der roten Gefahrenzone kennzeichnet das Startfeld.

Prozesswechsel

Aus permanenten Rutschungen können spontan Teilrutschungen hervor gehen, beispielsweise aus der übersteilen Front einer tiefgründigen Rutschmasse oder im Zusammenhang mit Wechselwirkungen mit Fliessgewässern. Die Gefahrenbeurteilung für solche Phänomene erfolgt anhand der Kriterien Intensität und Wahrscheinlichkeit im 9-Felder-Diagramm (spontane Rutschungen siehe Kap. 6).

6. Gefahreneinstufung spontane Rutschungen

6.1 Prozessverständnis

Spontane Rutschungen sind plötzlich und schnell abgleitende Massen. Charakteristisch ist ein plötzlicher Scherfestigkeits-Verlust, begleitet von der Ausbildung einer Bruchfläche (→ neue Gleitfläche). Die neue Gleitfläche kann in eine bereits bestehende übergehen, so dass diese eine „Aktivierung“ erfährt (Scherfestigkeits-Verlust auf bestehender Gleitfläche). Spontane Rutschungen könne grosse Volumina bis zu mehreren Hunderttausend oder Millionen von Kubikmetern umfassen. Ihre Wirkung ist ähnlich jener von Fels- und Bergstürzen.

6.2 Disposition

Gestützt auf O. Hungr (Flow Slides and Flows in Granular Soils; IW-Flows, 14 - 16 May 2003, Sorrento, Italy) hat eine spontane Rutschung einen plötzlichen Verlust der Scherfestigkeit im Falle von Kohäsionsverlust, Reduktion des Reibungswinkels oder Zunahme des Porenwasserdruckes als Ursache. Kausal sind spontane Rutschungen durch die Materialeigenschaften (innere Reibung, Kohäsion) und/oder Wasserdruck (Porenwasser, Strömungsdruck) bedingt. Letzterer wirkt als Auftrieb oder Strömungsdruck auf den Gleitflächen oder Porenwasserdruck in der instabilen Masse.

Spontane Rutschungen treten häufig als Sekundärrutschungen in der Front von permanenten Rutschungen auf. Hier tritt als zusätzlicher kausaler Faktor die durch die langandauernde Hangbewegung verursachte Versteilung der Rutschfront auf. Beispiele solcher spontanen Rutschungen sind die Tripfirutschungen in Lauterbrunnen, die Rutschung Binzenegg in Riemenstalden (60'000 m^3), die Rutschung an der Starzlen (Muotathal, 230'000 m^3) und jene am Bätschen (Braunwald, 200'000 m^3).

6.3 Einstufung des Gefahrenpotenzials

Spontane Rutschungen treten in ihrem Wirkungsbereich praktisch durchwegs in der höchsten Intensität auf. Sie haben sowohl eine starke Beschleunigung als auch starke Differenzialbewegungen zur Folge. Sie sind daher gleich zu behandeln wie Fels- und Bergstürze. Bei einer Wahrscheinlichkeit bis zu 300 Jahren ergibt sich damit ein Rot (Anhang 2). Darüber allenfalls ein Weiss-Gelb.

7. Gefahreneinstufung Hangmuren

Kennzeichnend für diese Form der Massenbewegung ist ein Gemisch aus Lockergestein (oft nur der Boden und die Vegetationsbedeckung) und Wasser. Hangmuren entstehen an relativ steilen Hängen mit einer Lockergesteins- bzw. Bodenbedeckung. Durch den Prozess werden meist nur oberflächennahe Schichten, oft auch nur der Boden im Sinne mobilisiert. Als auslösender Faktor wirken in den meisten Fällen intensive Niederschläge. Ein durch Schneeschmelze (Ereignisse Frühjahr 1999) oder vorhergehende Niederschläge stark wassergesättigter Boden (Napf, Appenzell, Surselva 2002) begünstigt die Entstehung des Prozesses. Der Entstehung förderlich können zudem anthropogene Faktoren sein.

Bei der Auslösung spielt die Variation des Wassers im Untergrund als treibende Kraft eine dominante Rolle (trigger). Starke Durchnässung und die daraus hervorgehenden Wasserdrücke haben einen plötzlichen Verlust der Scherfestigkeit zur Folge. Der Auslösemechanismus liegt im Bereich zwischen dem eines hydrostatischen Grundbruchs, liquifaction und der bruchhaften Ausbildung einer Gleitfläche. Bei Einmündung in ein Fliessgewässer oder in eine wasserführende Rinne kann sich dieses Phänomen in Murgänge im engeren Sinn entwickeln. Zu Rutschungen kann ein gradueller Übergang bestehen, indem bei Hangmuren auch Gleitflächen ausgebildet sein können.

Das umgelagerte Volumen variiert in der Regel zwischen wenigen m^3 bis mehreren Tausend m^3. Der verhältnismässig hohe Wasseranteil kann eine hohe Prozessgeschwindigkeit (bis 10 m/s) sowie erhebliche Transportweiten zur Folge haben. Die Geschwindigkeiten und Reichweiten sind von den bodenmechanischen Eigenschaften des mobilisierten Materials und dem Verhalten der Wasserphase abhängig. Ein granularer, feinmaterialarmer Boden wird sich tendenziell schneller entwässern und zum Stillstand kommen als ein feinmaterialreiches, sich eher plastisch verhaltendes Material. Bei einem kanalisierten Abfluss in einer Geländemulde oder Runse bleibt die Wasserphase besser im umgelagerten Material erhalten (containment), als bei einer Umlagerung auf einer konvexen Geländeform. Die Reichweiten können ein Vielfaches der Breite der Anrisszone betragen.

Die Auswirkungen von Hangmuren haben in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen: Kleinräumig an steileren Hängen oder Böschungen auftretend, stellen Hangmuren ein Gefahrenpotenzial für besiedeltes und bewirtschaftetes Gebiet dar. Aufgrund ihrer Druckwirkung beim Aufprall auf Hindernisse beinhalten sie ein erhebliches, zerstörerisches Potenzial, durch das Menschen und Tiere an Leib und Leben gefährdet sind. Nicht zuletzt die Ereignisse des Jahres 2002 (Napfregion, Luzenberg AR, Surselva GR) dokumentieren drastisch die Auswirkungen dieses Prozesses.

7.1 Bisherige Methodik

Die Gefahrenstufe einer Hangmure wird anhand des Intensitäts-/Wahrscheinlichkeits-Diagramms bewertet. Gemäss den Empfehlungen wird die Intensität einer Hangmure nach der Mächtigkeit M der mutmasslich mobilisierbaren Schicht beurteilt (siehe Tabelle auf S. 26 der Empfehlungen) oder - bei vorhandenen Spuren - der Mächtigkeit h der zu beobachtenden Ablagerungen.

Schwache Intensität	M < 0.5 m	---
Mittlere Intensität	0.5 m < M < 2 m	h < 1 m
Starke Intensität	M > 2 m	h > 1 m

Die Wahrscheinlichkeit wird anhand der Eintretenswahrscheinlichkeit von besonderen, der Auslösung solcher Prozesse förderlichen Witterungsverhältnissen bestimmt.

7.2 Vorschlag AGN

Ansatz

Als Mass für die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit zur Entstehung von Hangmuren wird von der Disposition eines Hanges zur spontanen Bildung eines solchen Prozesses ausgegangen. So wird bei einer hohen Disposition angenommen, dass die Schwelle zu einem Materialabgang bereits durch ein häufiges Ereignis (i.d.R. Niederschlag) ausgelöst werden kann. Da-

durch müssen keine Aussagen zu Niederschlagsschwellenwerten gemacht werden, ab deren Überschreitung eine Ereignisauslösung stattfinden kann.

Mit den Untersuchungen der WSL zu den Ereignissen von Sachseln (1999), in der Napfregion und Appenzell (2002) liegen nun Grundlagen zum besseren Verständnis dieses Prozesses vor. Aus der Beurteilung AGN können aus den untersuchten Einflussfaktoren folgende Gruppen abgeleitet werden:

Hangneigung in Gebieten mit Lockergesteins- oder Bodenbedeckung

Mehrheitlich bilden sich Hangmuren ab Hangneigungen > 20°. Die Beurteilung der Disposition zu solchen Prozessen beschränkt sich daher auf potenzielle Anrissbereiche mit einer Neigung von > 20°. Flachere Neigungen sind nur in ganz speziellen Fällen möglich (Existenz markanter geologischer Diskontinuitäten, anthropogene Faktoren). Digitale Geländemodelle erleichtern die Ausscheidung der prädestinierten Hangbereiche.

Vorhandensein stummer Zeugen

Wie aus den Untersuchungen der WSL hervorgeht, waren an zahlreichen Ereignisstellen Spuren (stumme Zeugen) früherer Ereignisse festzustellen (Napf/Appenzell in 98 %, Sachseln 67 % aller Fälle). Die Erfassung solcher Spuren in Form einer „Karte der Phänomene“ bildet daher - neben den Resultaten der Ereignisdokumentation - eine wichtige Grundlage zur Beurteilung der Hangmurgefahr.

Mittels eines statistischen Ansatzes (Mittelwert, Standardabweichung der Hangneigungen im Anrissbereich) werden die für die Entstehung von Hangmuren prädestinierten Hangbereiche für hinsichtlich Geologie (z. B. Flyschuntergrund) und Landnutzung (Wald vs. Freiland) Gebiete ausgeschieden.

Beurteilung von Förderfaktoren

Verschiedene Faktoren begünstigen die Entstehung von Hangmuren. Der Einfluss dieser Faktoren bei einem Hang ist fallweise zu prüfen. Dabei wird rein qualitativ zwischen grossem, kleinem und keinem Einfluss unterschieden. Die Bewertung der Faktoren ist in einem Bericht zu erläutern.

- Existenz oberflächennaher (oft in wenigen Metern Tiefe) **Durchlässigkeitsdiskontinuitäten** (Stauhorizont unten [z.B. Felsoberfläche] oder in durchlässigeres Material eingelagerte, bzw. solches überlagernde, schlecht durchlässige Schichten).
- **Geländeformen**: Übergänge von flachem zu steilem Gelände (Terrassenkanten) oder Lagen in Mulden-/Rinnen.
- **Hydrologisch-hydrogeologisches Einzugsgebiet**: Bergseitiges Gebiet, aus dem oberflächlich abfliessendes und/oder Hangwasser nachfliessen kann. Wasserzuflüsse ins Lockergestein aus oberflächennahem Felsuntergrund (v.a. Kluftwasserzirkulation).
- Die **Oberflächenbeschaffenheit** bzw. die **Landnutzung** werden wie folgt als die Prozessentstehung begünstigend eingestuft (abnehmender Einfluss bei gleicher Hangneigung):

- *Freiland*: Offene Erosionsflächen/-stellen > Weideland mit Trittschäden, Viehgangeln etc. > Wiesland
- *Wald:* Schadenflächen (Sturm, Käfer) > strukturell ungünstige Bestockung > mangelnde Verjüngung etc.
- **Anthropogene Einflüsse**: Ableitung von versiegelten Flächen (z.B. Strassenwasser), Überläufe von Laufbrunnen oder Brunnstuben, (defekte) Drainagen, übersteile Hanganschnitte.

Sowohl die Hangneigung als auch die Spuren früherer Ereignisse sind klar definierte, allgemein nachvollziehbare Kriterien. Die nicht oberflächenbezogenen Förderfaktoren setzen hingegen geologische Kenntnisse voraus und beinhalten einen gewissen Interpretationsspielraum.

Die Auswertungen der Ereignisse Napfregion/Appenzell durch die WSL zeigen, dass in 90 % aller Fälle Spuren früherer Ereignisse vorhanden waren. Die Beobachtungen im Gelände spielen bei der Beurteilung der Hangmurgefahr somit eine grosse Rolle.

Bei der Ausscheidung von Gebieten mit der Disposition zur Entstehung von Hangmuren und/oder spontanen flachgründigen Rutschungen wird gemäss dem Flussdiagramm in Anhang 3 vorgegangen.

Intensität (Anhang 4)

Die Bezeichnungen „Erdlouenen“ oder „Schlammlawinen“ weisen auf Ähnlichkeiten mit Fliesslawinen im engeren Sinne hin. Es ist daher nahe liegend, für die Intensität von Hangmuren einen ähnlichen Beurteilungsansatz zu verwenden wie für Lawinen, nämlich den Staudruck (siehe Anhang 4).

Im Rahmen der Gefahrenbeurteilung auf Stufe Gefahrenkarte kann der Staudruck vereinfachend aus dem Produkt von Geschwindigkeit und Dichte abgeleitet werden, wenn hinsichtlich Anströmwinkel und Widerstandsfaktor von uniformen Werten ausgegangen wird (Vorschlag: Anströmwinkel = 90°, dimensionsloser Widerstandsfaktor = 2). Wie aus Anhang 4 (Bild 1, links) hervor geht, beeinflusst die Dichte die Geschwindigkeit nur sehr geringfügig. In grober Näherung könnte für die Dichte ebenfalls von einem einheitlichen Wert ausgegangen werden. Für den Staudruck massgebend wäre letztlich einzig die Geschwindigkeit.

Die Geschwindigkeit kann - gestützt auf die Arbeiten von P. Gamma (Ref. 4 in Anhang 4) - in Anlehnung an das Lawinenmodell Voellmy/Perla durch die Hangneigung, Gleitreibung (μ) und den Faktor M/D (mass-to-drag ratio) approximiert werden. Der M/D-Wert ist eine Grösse, welche das Verhältnis zwischen Masse und Scherkraft beschreibt. Bei Lawinen liegt er in der Grössenordnung von 300, bei Murgängen in Gerinnen zwischen 40 und 120 (vgl. Ref. 4) liegt. Bei Hangmuren muss aufgrund ihrer rheologischen Eigenschaften von Werten << 40 ausgegangen werden.

Aufgrund der verfügbaren Datengrundlagen und mangelnder Angaben in der Fachliteratur ist es im vorliegenden Bericht nicht möglich, die Abhängigkeit der beiden Parameter μ und M/D vom mobilisierten Material darzustellen. Es ist davon auszugehen, dass sich verschiedene Bodenklassen (Klassifikation USCS) unterschiedlich verhalten: So wird sich ein Boden mit

Plastizitätseigenschaften (eher höhere Werte M/D) anders verhalten als ein granularer, feinmaterialarmer (tiefe M/D-Werte). Hier besteht Abklärungsbedarf.

Aus diesem Grund werden neben dem aus der Geschwindigkeit zu ermittelnden Staudruck die Intensitätskriterien der Empfehlungen 1997 beibehalten. Zu diskutieren ist eine Verdoppelung der Werte des 3. Kriteriums, da die Druckverteilung bei Hangmuren eher dreiecks-, denn rechtecksförmig (Lawinen) ist. Die Verwendung des Kriteriums Staudruck ist insofern interessant, da es auch die Grundlage für die Dimensionierung von Gebäudeteilen bildet.

Intensität	**schwach**	**mittel**	**stark**
Kriterium 1: Hangmure *potentiel* (Transitbereich)	*M < 0.5 m*	*0.5 < M < 2 m*	*M > 2 m*
Kriterium 2: Hangmure *real* (Transitbereich)	--	h_f *< 1 m*	h_f *> 1 m*
Kriterium 3: mittlerer Staudruck Alternative	$q_f < 3$ kN/m^2 $q_f < 6$ kN/m^2	3 kN/m^2 < q_f < 30 kN/m^2 6 kN/m^2 < q_f < 60 kN/m^2	$q_f > 30$ kN/m^2 $q_f > 60$ kN/m^2

8. Kommentar, Folgerungen

Wichtigstes Anliegen der AG ist vorerst die klare Unterscheidung der Prozesse permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren. Damit wird einerseits den unterschiedlichen Gefahrenpotenzialen sowie dem unterschiedlichen Gefahren- und Risikomanagement Rechnung getragen.

Die Anpassung der Methodik ist moderat: die bisherigen Diagramme können beibehalten werden.

Bei den **permanenten Rutschungen** werden neu die Faktoren a) Reaktivierung, b) differenzielle Bewegungen und c) Tiefgang eingeführt. a und b bewirken eine Verschärfung der Gefahr, c dagegen eine Herabstufung. Letzteres dürfte zu weiteren Diskussionen Anlass geben. Aufgrund ihrer Erfahrung ist die AGN aber überzeugt, dass dieser Ansatz richtig ist. Die neue Methodik dürfte den Bearbeitungsaufwand erhöhen, was aber letztlich durch die verstärkte Aussagekraft, Transparenz und den praktischen Nutzen mehr als wettgemacht wird.

Die neu eingeführten **spontanen Rutschungen** können analog wie Fels- und Bergstürze behandelt werden.

Bei den Hangmuren, welche in den letzten Jahren in der Schweiz vermehrt auftraten und möglicherweise im Zug der Klimaerwärmung häufiger werden könnten (intensivere Niederschlagsereignisse), werden sowohl bezüglich Intensität wie Gefahrenpotential neue Ansätze vorgestellt. Das neue Flussdiagramm gibt einen pragmatischen und feldtauglichen Ansatz für die Abschätzung dieses sehr schwierig erfassbaren Prozesses. Um besonders die Intensität von Hangmuren besser quantifizieren zu können wäre es zu empfehlen, die Erfassungsformulare

der WSL-Felderhebungen Napf und Appenzell 2002 hinsichtlich bestimmter Kriterien zu analysieren, welche der AGN als vertieft abklärungsbedürftig aufgefallen sind.

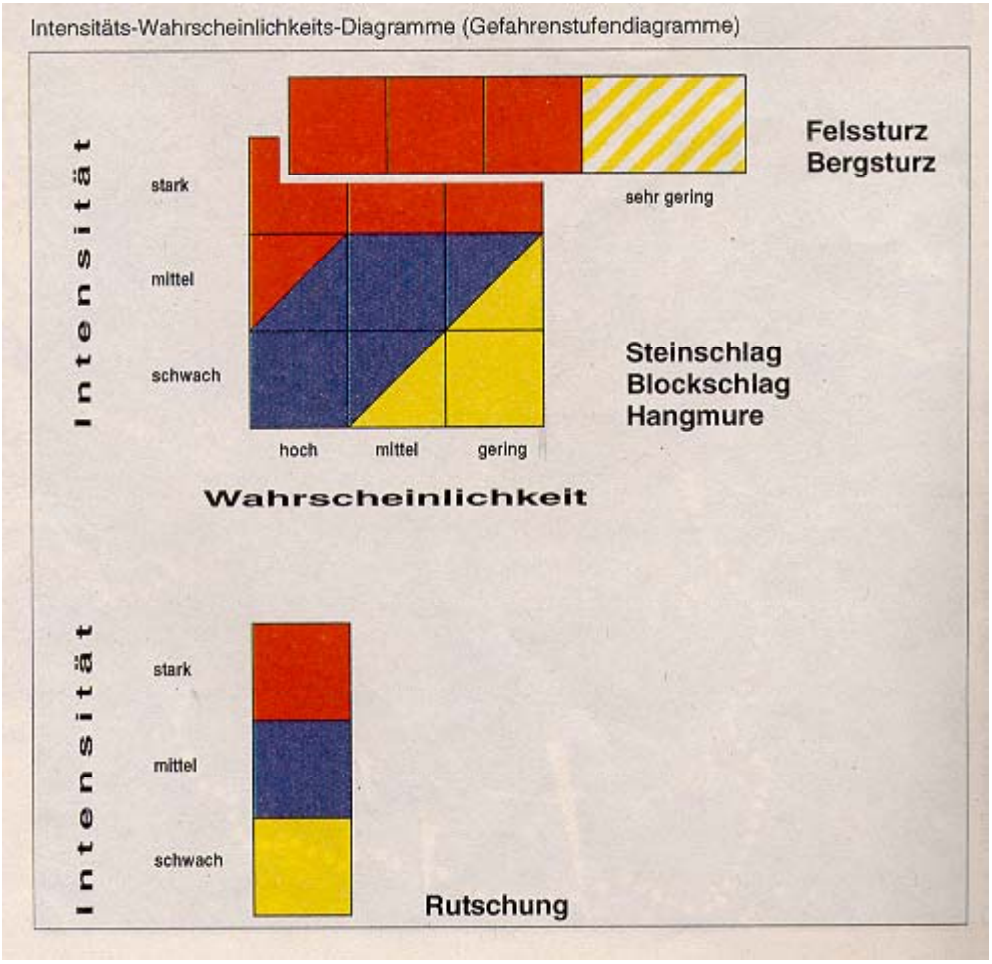
9. Empfehlungen der AGN

Die hier vorgestellte Anpassung der Methodik Gefahreneinstufung Rutschung i.w.S. bringt eine differenziertere Behandlung dieser schwierigen Prozesse, ohne dass die bisherige Methodik grundsätzlich geändert werden muss.

Der Bund sollte prüfen, ob der neue Ansatz z.B. im Sinne einer Ergänzung der "Empfehlungen" etabliert werden könnte. Da die Bearbeitung der Gefahrenkarten voll im Gang ist, wäre eine rasche Umsetzung der Methodik wünschenswert. Damit könnte eine schweizweite unité de doctrine angestrebt und erreicht werden.

Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren

Gefahreneinstufung gemäss Bund 1997

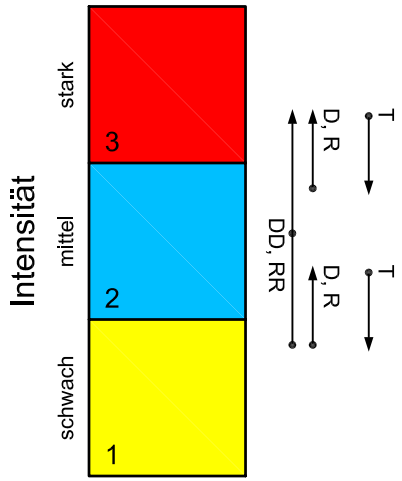


Flussdiagramm und Kriterien zur Beurteilung von **permanenten** Rutschungen

Intensitäts-Diagramm

kontinuierliche Prozesse

kontinuierliche Rutschungen
Hangkriechen

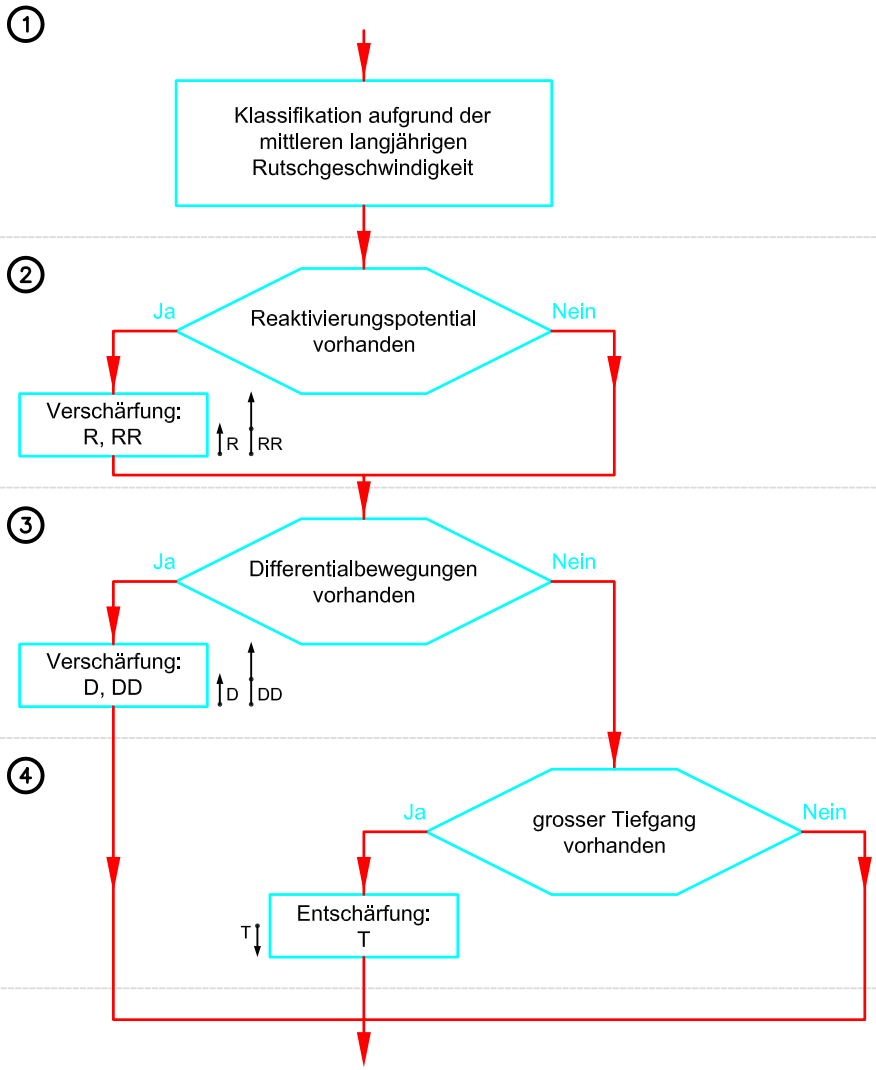


Ver- / Entschärfungen

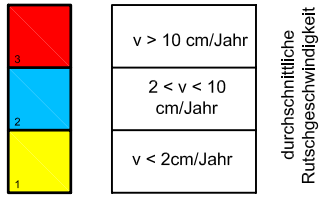
DD, RR / D, R — Potential zur Reaktivierung (R) und/oder Differenzialbewegungen (D) stark (DD, RR), mittel (D,R)

T — mögliche Entschärfung bei grossem Tiefgang der Rutschung, gem. Flussdiagramm

Flussdiagramm



Kriterien



RR: Reaktivierung starken Ausmasses
dv > 10v [cm/Jahr]

R: Reaktivierung mittleren Ausmasses
2v < dv < 10v [cm/Jahr]

DD: starke differenzielle Bewegungen
dl > 2 [cm/m und Jahr]

D: mittlere differenzielle Bewegung
1 < dl < 2 [cm/m und Jahr]

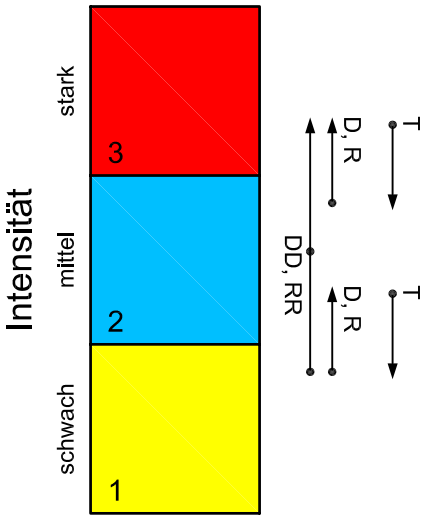
anwendbar für:
- grössere, zusammenhängende Rutschmassen (z.B. > 10 ha)
- phänomenologisch homogene Bereiche
- durch Messungen dokumentierte gleiche Bewegungsdynamik

T: Tiefgang der Rutschung
i.d.R.: t > 20 bis 30 m

Gefahreneinstufung kontinuierliche und spontane Prozesse

kontinuierliche Prozesse

kontinuierliche Rutschungen
Hangkriechen

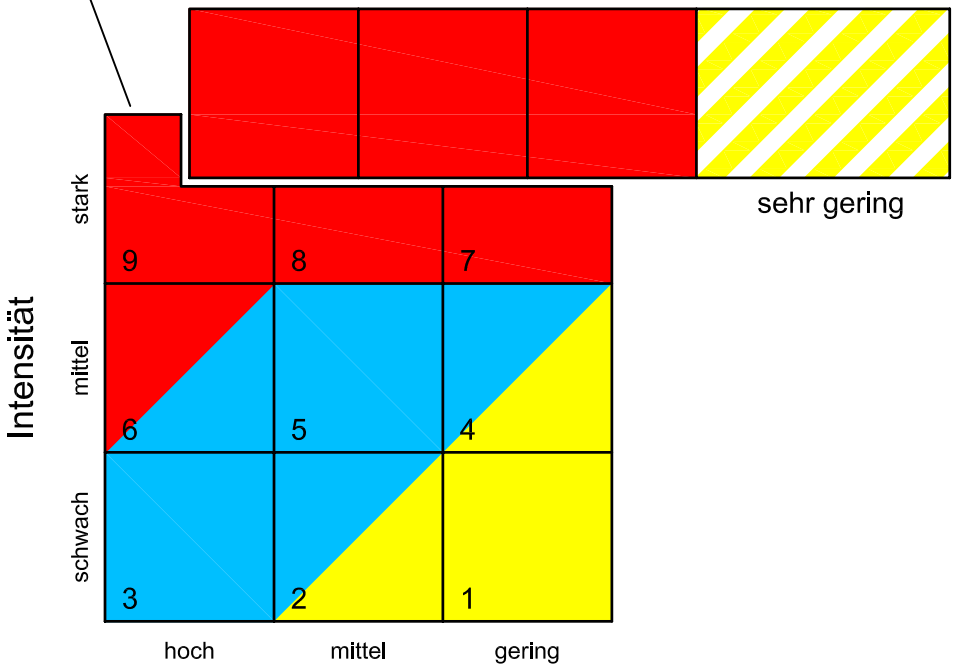


Prozess-
wechsel

spontane Prozesse

Blockschlag
Steinschlag
spontane Rutschungen
Hangmuren

Felssturz, Bergsturz



Ver- / Entschärfungen



Potential zur Reaktivierung (R) und/oder
Differenzialbewegungen (D)
stark (DD, RR), mittel (D,R)

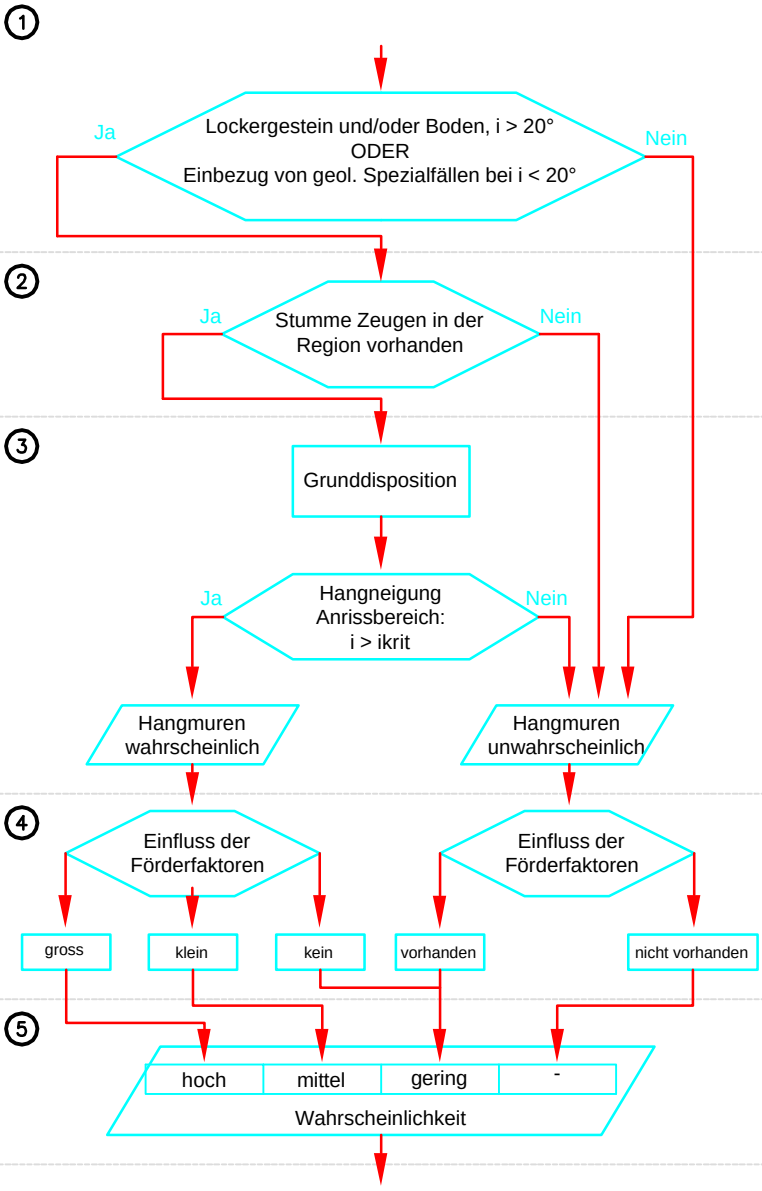
mögliche Entschärfung bei grossem Tiefgang (T)
der Rutschung, gem. Flussdiagramm

Diagramm 1

Diagramm 2

Flussdiagramm und Kriterien zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeiten von **Hangmuren**

Flussdiagramm



Kommentar

Einschränkung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet wird festgelegt. Einbezogen werden Lockergesteinsböschungen und Bodenschichten mit folgenden Kriterien:

- Hänge mit einer Hangneigung > 20 °
- geologische Spezialfälle, wo Hangmuren bei kleineren Hangneigungen vorkommen können (Gebiete mit geringer Scherfestigkeit, oder mit markanten Gleitflächen, etc.)

Kartierung und Beurteilung der stummen Zeugen

Die stummen Zeugen im Untersuchungsgebiet werden aufgenommen und beurteilt. U.a. wird die kritische Hangneigung (für den Abgang einer Hangmure) und deren Streubreite erfasst.

Einbezug und Beurteilung der Grunddispositon

Anhand eines statistischen Ansatzes wird die Grunddisposition eines topographisch und geologisch/geotechnischen Bereiches beurteilt.
Anhand der stummen Zeugen wird die durchschnittliche effektive Hangneigung (iquer) und die Standardabweichung (is) für den Abgang einer Hangmure in der Region in Abhängigkeit der Datenlage entweder berechnet oder abgeschätzt. Da es sich dabei um Operationen an Winkelmassen handelt, wird der Mittelwert und die Stdabw. über den Tangens der Neigungen berechnet.

Als Schwellenwert zur Ausscheidung von potentiellen Hangmurzonen wird die mittlere Hangneigung (iquer) um eine Standardabweichung (is) abgemindert und als kritische Hangneigung bezeichnet (ikrit).

Schlussendlich wird die Neigung des zu beurteilenden Hanges (i) mit der kritischen Hangneigung verglichen.
Ist (i) grösser als (ikrit) sind Hangmuren wahrscheinlich.

Einbezug und Beurteilung der Förderfaktoren

Die Anzahl der vorhandenen Förderfaktoren (Durchlässigkeitskontraste, Oberflächenbeschaffenheit, Geländeform, etc.) wird einbezogen und beurteilt.

Bestimmung der Wahrscheinlichkeit

Entsprechend der Beurteilung der Förderfaktoren ergibt sich dann die Eintretenswahrscheinlichkeit der Hangmuren.

1. Beurteilung der Intensität von Hangmuren

Für die Beurteilung der Intensität von Hangmuren wird zusätzlich zu den zwei bestehenden Intensitätskriterien (Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht M sowie Mächtigkeit der Ablagerung durch Hangmure h) der Staudruck q_f gemäss [3] als drittes Kriterium vorgeschlagen.

Der Staudruck ist definiert als das halbe Produkt der Dichte mit der quadrierten Geschwindigkeit, einem Widerstandsfaktor c_d und dem Anströmwinkel alpha:

$$\mathbf{q_{f,alpha} = 0.5 * rho_f * v_f^2 * c_d * \sin^2 (alpha)}$$

wobei: Staudruck: q_f = [kN/m^2]; Dichte: rho_f = [t/m^3]; Fliessgeschwindigkeit: v_f = [m/s];
Anströmwinkel auf Hindernis (90° entspricht senkrechter Anströmung): alpha = [°];
Widerstandsfaktor cd = [-]

typische Richtwerte für c_d sind:
c_d = 1.25 – 1.50 wenn $l_g/h_f < 40$
c_d = 1.50 – 2.00 wenn $l_g/h_f > 40$

wobei: l_g [m] = Länge Hindernis (z.B. Gebäudelänge) und h_f [m] = Fliesshöhe:

In Anlehnung an die Lawinenkunde können die Klassengrenzen der Intensität des Staudruckes analog zu demjenigen einer Lawine festgelegt werden, vgl. Kriterium 3 der Tabelle 1 [2]. Zu diskutieren ist eine Verdoppelung dieser Werte, da die Druckverteilung bei Hangmuren eher dreiecks-, denn rechteckförmig (Lawinen) ist.

Intensität	schwach	mittel	Stark
Kriterium 1: Hangmure *potentiel* (Transitbereich)	***M < 0.5 m***	***0.5 < M < 2 m***	***M > 2 m***
Kriterium 2: Hangmure *real* (Transitbereich)	**--**	***h_f < 1 m***	***h_f > 1 m***
Kriterium 3: mittlerer Staudruck	**q_f < 3 kN/m^2**	**3 kN/m^2 < q_f < 30 kN/m^2**	**q_f > 30 kN/m^2**
Alternative	**q_f < 6 kN/m^2**	**6 kN/m^2 < q_f < 60 kN/m^2**	**q_f > 60 kN/m^2**

M= Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht; h_f = Murganghöhe (Hangmure)

Tabelle 1: Intensitätskriterien für die Beurteilung von Hangmuren (erweitert nach [1]).

Der Staudruck einer Hangmure ist in erster Line eine Funktion der Geschwindigkeit, der Dichte rho sowie auch des Anströmwinkels alpha an ein Hindernis. Deren Einflüsse lassen sich bezüglich den festgelegten Intensitätsbereichen folgendermassen zusammenfassen (Bild 1):

Im linken Diagramm wurde mit variierenden Werten für die Dichte rho gerechnet, woraus sich jedoch bei definiertem Staudruck nur ein unbedeutender Einfluss auf die Fliessgeschwindigkeit zeigt (mit c_d=2; alpha=90°).

Im rechten Diagramm ist die Abhängigkeit des Anströmwinkels alpha bezüglich des Staudruckes ersichtlich. Ein gegebener Staudruck geht bei flacherem Anströmwinkel mit einer höheren Geschwindigkeit einher (mit c_d=2 und rho=2 t/m^3).

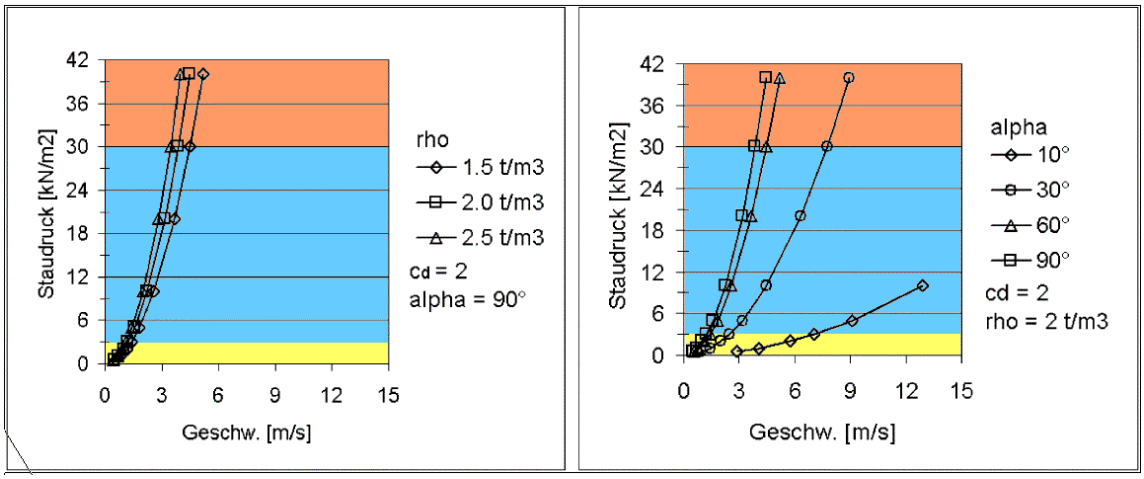


Bild 1: Diagramme Staudruck - Geschwindigkeit.
Links: in Abhängigkeit der Dichte rho [t/m^3]
Rechts: in Abhängigkeit des Anströmwinkel alpha [°]

2. Abschätzung der Fliessgeschwindigkeit von Hangmuren

Das Abschätzen der Fliessgeschwindigkeiten erweist sich als weitaus komplizierter.

Der eigentliche Fliessprozess von Hangmuren ist demjenigen von Murgängen ähnlich. Bei der Modellierung der Geschwindigkeiten und Reichweiten von Hangmuren können wahrscheinlich ähnliche Ansätze wie bei den Murgängen angewendet werden. Hangmuren liegen in einem Geschwindigkeitsbereich von 1 - 10 m/s, maximal können bis zu 15 m/s erreicht werden.

Zur theoretischen Abschätzung eines Wertebereichs der Fliessgeschwindigkeiten im Anrissbereich von Hangmuren kann ein Ansatz n. [4] verwendet werden, der auf dem 2-Parametermodell von Voellmy/Perla beruht (vgl. Bild 2). Demnach wird die Geschwindigkeit in jedem Teilabschnitt eines Hanges bestimmt durch die **Hangneigung** sowie durch die zwei weiteren Parameter:

- **m [-]:** Mass für die **Gleitreibung** des Rutschkörpers auf der Unterlage, entspricht dem Tangens vom Reibungswinkel phi.
- **M/D [m]:** Grösse für das Verhältnis zwischen Masse und Scherkraft (mass-to-drag ratio), definiert durch die Materialeigenschaften im Inneren des Rutschkörpers (z.B.: Wassergehalt, Korngrössenverteilung, Scherfestigkeit, etc.).

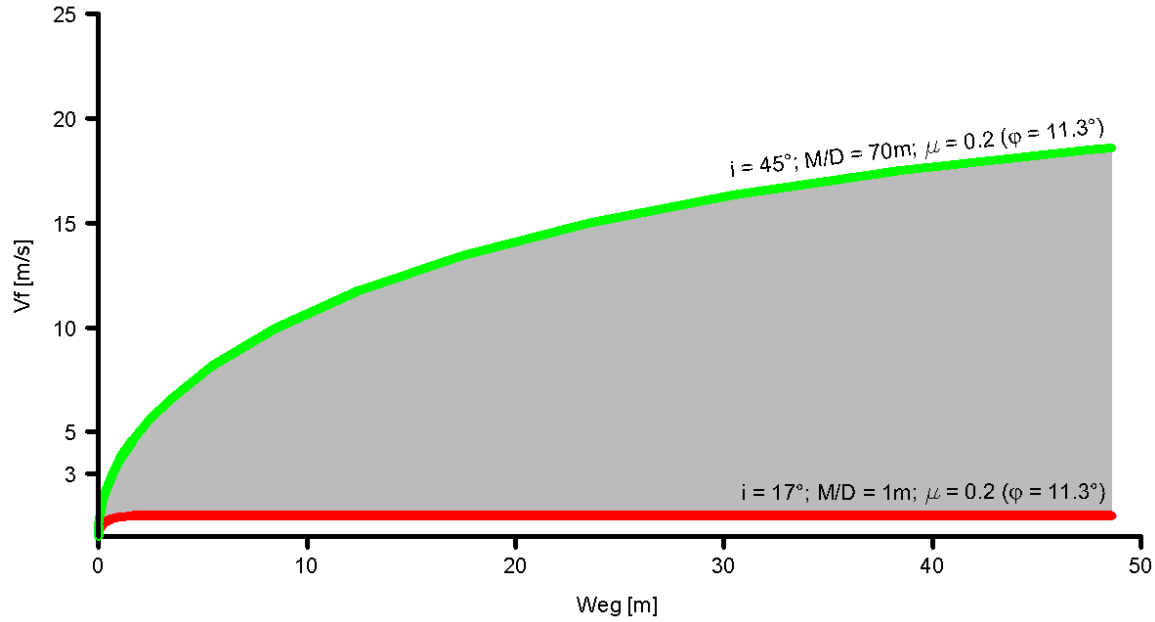


Bild 2: **Bereich der Weg/Geschwindigkeit von Hangmuren, n. [4] für (17 < i < 45°; 1 < M/D < 70; 0.05 < m < 0.2)**

In der Regel wird bei Hangmuren durch einen unter- oder oberirdischen Wasserzutritt im **Anrissbereich** das Lockergestein schlagartig oder allmählich verflüssigt.

Die Hangmure erfährt durch die Erdbeschleunigung - analog zum klassischen Fall der Massenbewegung auf einer schiefen Ebene - solange eine starke **Geschwindigkeitszunahme** (d.h. eine Beschleunigung), bis ihre innere Reibung oder Scherfestigkeit keine weitere Beschleunigung mehr zulässt.

So stabilisiert sich die Geschwindigkeit im **Transitbereich** - bei gleichbleibenden Randbedingungen - bei einem maximal möglichen **konstanten Wert.** Der Transitbereich ist häufig relativ kurz oder kaum vorhanden.

Sobald die Kriterien für ein Fliessen nicht mehr erfüllt sind, folgt der **Ablagerungsbereich**, wo die Hangmure je nach Randbedingungen mehr oder weniger rasch zum Stillstand kommt.

Die Beschleunigungsphase mit der daraus resultierenden Geschwindigkeit sowie der Staudruck muss zur erfolgreichen Gefahrenbeurteilung als Funktion des Weges abgeschätzt werden. Die genauen Randbedingungen (wie Wassergehalt, Kornverteilung, Scherfestigkeit, etc.) bei Prozessbeginn und ihre Änderung auf dem Fliessweg sind abgesehen von der Hangneigung und der Bodenform schwierig zu quantifizieren.

Die Hauptaufgabe für weitere Abklärungen zu Hangmuren besteht darin, die zwei Parameter m und M/D mit allgemein verwendeten geotechnischen Parametern (Bodenklassifikation) in Verbindung zu bringen.

3. Referenzen

[1] 1997: Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. - Naturgefahren, Empfehlungen; O. Lateltin; BUWAL

[2] 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. - Bundesamt für Forstwesen, SLF.

[3] 1999: Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren. - T. Egli, Bart Ingenieure St.Gallen; Gebäudeversicherung St.Gallen.

[4] 1999: dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung. - P. Gamma; Inauguraldissertation Univ. Bern.

Fallbeispiel Grindelwald

1. Geologische Übersicht

Das Dorf Grindelwald liegt geologisch im Bereich des Aalenien (Dogger). Diese schwarzen Tonschiefer sind z.T. tiefgründig verwittert und mehr oder weniger von Gehängeschutt überdeckt. Die Tonschiefer weisen im verwitterten Zustand geringe Scherfestigkeiten auf.

2. Prozess Rutschungen, Gefahrenpotential

Bedingt durch die ungünstigen bodenmechanischen Eigenschaften der Aalenienschiefer befinden sich weite Teile des gegen Süden abfallenden Hanges von Grindelwald in einer Kriechbewegung (permanente Rutschung). Die seit langem bekannten Hangbewegungen liegen im Bereich von wenigen Millimetern bis Zentimetern pro Jahr. Sie führen zu Schäden an Gebäuden, Strassen und Leitungen. Grössere Gebäudezerstörungen sind jedoch nicht bekannt. Neubauten werden in der Regel in steifer Kastenbauweise erstellt und können so die Hangbewegungen relativ schadfrei überstehen.

Der permanenten Rutschung überlagert sind spontane Hangmuren. Sie treten bei Hangneigungen von 28 - 30° auf.

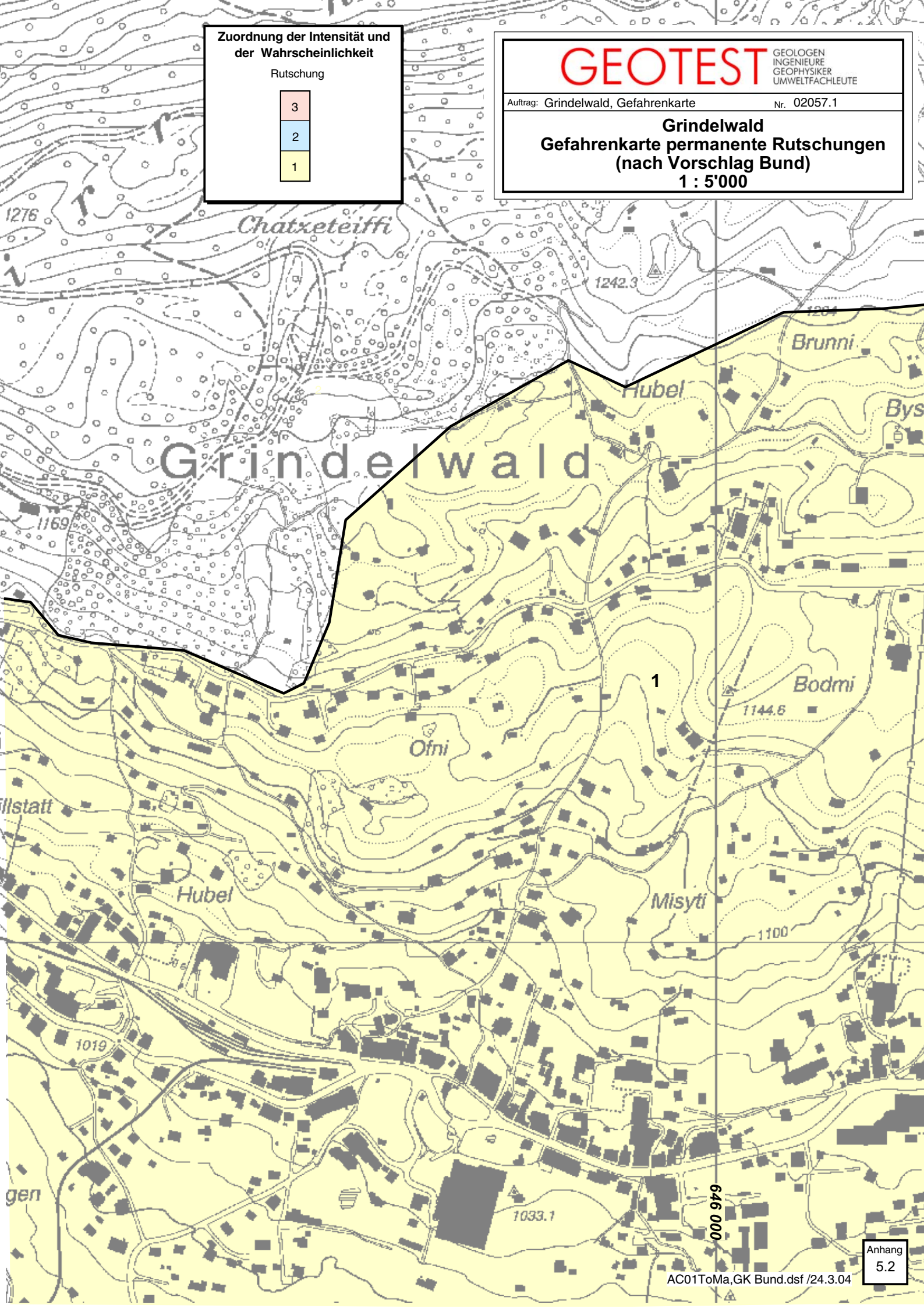
3. Gefahreneinstufung, Vergleich der Methoden Bund und AGN (Anhänge 5.1 und 5.2)

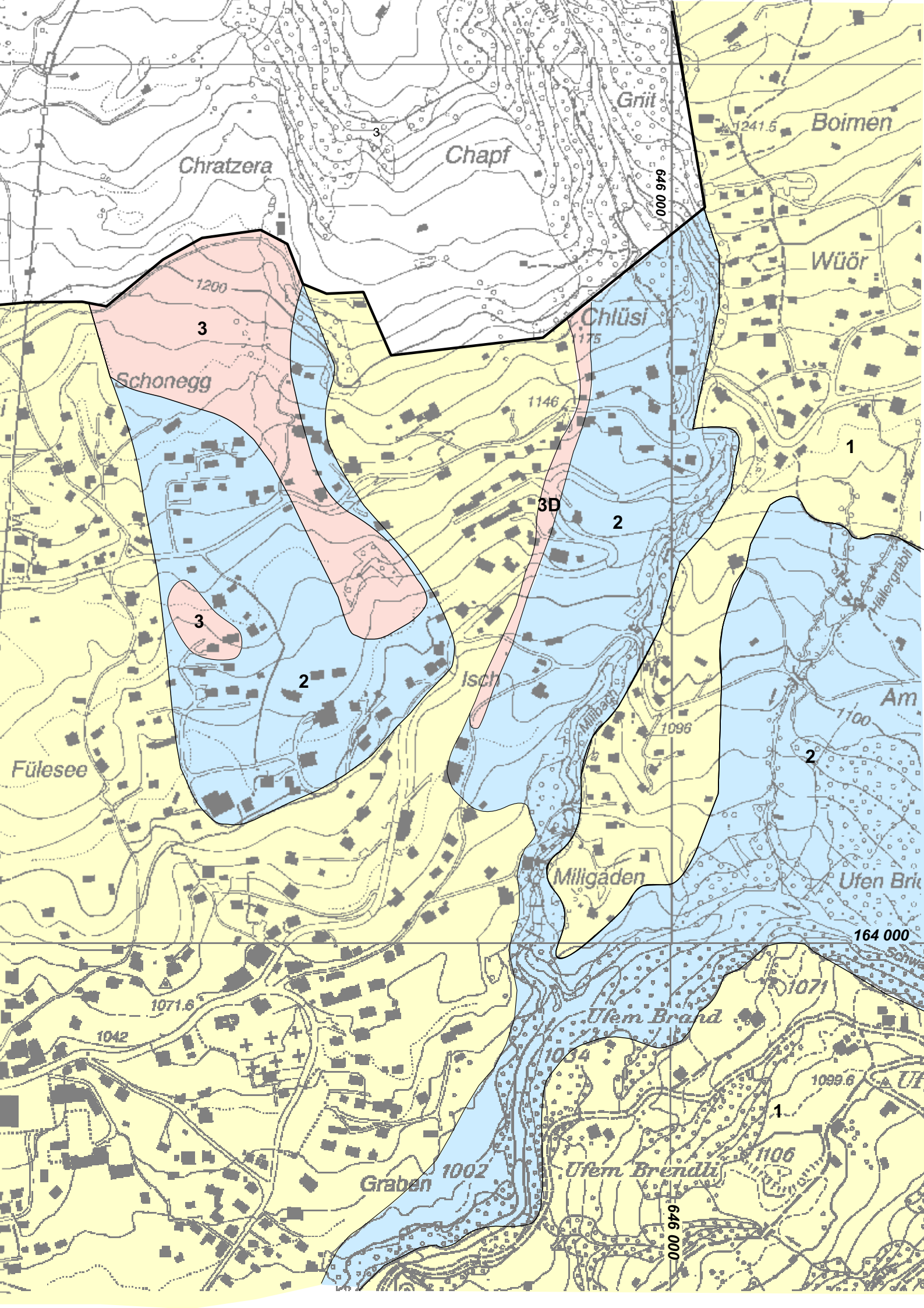
Anhang 4.1 und 4.2 zeigen die Gefahreneinstufung für permanente Rutschungen nach bestehender Methode Bund resp. nach dem neuen Ansatz AGN.

Beide Methoden vermitteln bezüglich der Gefahrenstufen ein ähnliches Bild.

Als wichtigster Vorteil des Ansatzes AGN erweist sich derjenige der Berücksichtigung der **Reaktivierung** der Rutschung in gewissen Gebieten. Zudem ergibt sich lokal eine Heraufstufung der Gefahr aufgrund der **differenziellen Bewegungen**.

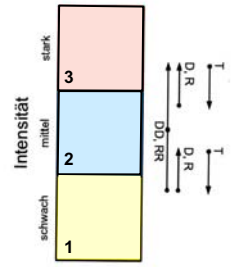
Die **Tiefe** der Rutschung findet keine Berücksichtigung, weil sie nirgends 10 m übersteigt.


Zuordnung der Intensität und der Wahrscheinlichkeit
Rutschung
3
2
1
GEOTEST
GEOLOGEN
INGENIEURE
GEOPHYSIKER
UMWELTFACHLEUTE
Auftrag: Grindelwald, Gefahrenkarte
Nr. 02057.1
Grindelwald
Gefahrenkarte permanente Rutschungen
(nach Vorschlag Bund)
1 : 5'000
Grindelwald
Chatzeteiffi
1276
1242.3
Brunni
Hubel
Bys
1169
1
Bodmi
1144.6
Ofni
illstatt
Hubel
Misyti
1100
1019
1033.1
gen
646 000
Anhang
5.2
AC01ToMa,GK Bund.dsf /24.3.04


Grüt
Chratzera
Chapf
Boimen
1241.5
646 000
Wüör
Chlüsi
1175
1200
3
Schonegg
1146
1
3D
2
3
2
Isch
Hällergrabil
Milibach
1096
Am
1100
2
Fülesee
Miligäden
Ufen Bric
164 000
1071.8
1042
1071
Ufem Brand
1034
1099.6
1
1106
Ufem Brendli
1002
Graben
646 000

Zuordnung der Intensität und der Wahrscheinlichkeit

Kontinuierliche Rutschungen



Ver- / Entschärfungen

Potential zur Reaktivierung (R) und/oder Differenzialbewegungen (D) stark (DD, RR), mittel (D,R)

mögliche Entschärfung bei grossem Tiefgang (T) der Rutschung, gem. Flussdiagramm

GEOTEST GEOLOGEN INGENIEURE GEOPHYSIKER UMWELTFACHLEUTE

Auftrag: Grindelwald, Gefahrenkarte Nr. 03067.1

Grindelwald
Gefahrenkarte permanente Rutschungen (nach Vorschlag AGN)
1 : 5'000

Grindelwald

Brunni

Hubel

Bodmi

1144.6

Ofni

Hubel

Misyti

1100

1242.3

1276

1169

1019

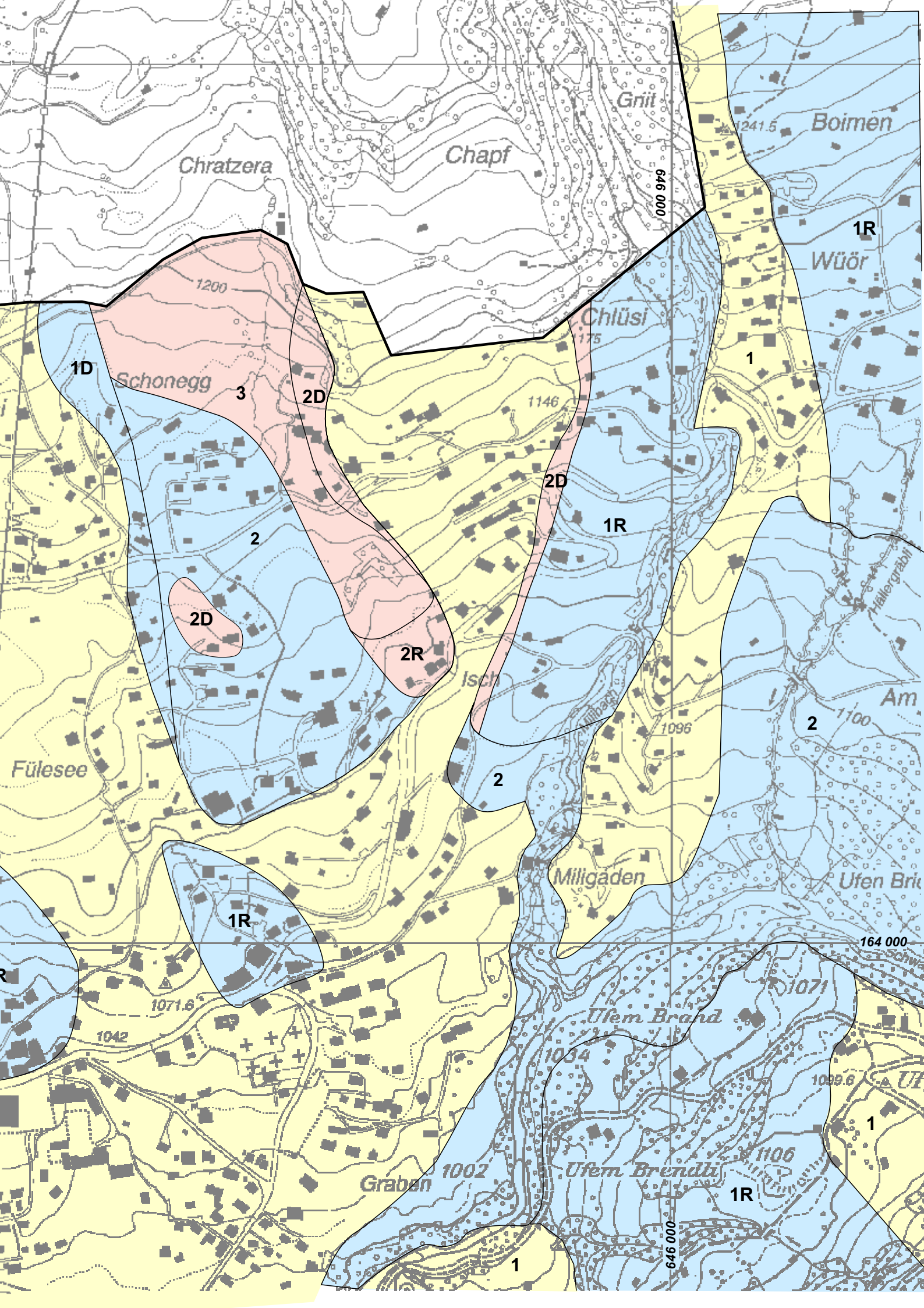
1033.1

1

646 000

AC01ToMa,GK AGN.dsf /24.3.04

Anhang 5.3


Grüt
Chratzera
Chapf
646 000
1241.5
Boimen
1R
Wüör
1200
Chlüsi
1175
1D
Schonegg
3
2D
1146
1
2D
1R
2
2D
2R
Isch
Hällergrabli
Am
1100
1096
2
Fülesee
2
Miligäden
Ufen Bric
1R
164 000
1071.8
1042
1071
Ufem Brand
1034
1099.6
1
1106
Ufem Brendli
1002
Graben
1R
646 000
1

Fallbeispiel Braunwald

1. Überblick

1.1 Geologie

Die Terrasse von Braunwald ist seit langer Zeit als ca. 3 ÷ 4 km^2 grosses Rutschgebiet bekannt. Im unteren Teil (Kernbereich von Braunwald) beträgt die Mächtigkeit der Rutschmasse 5 bis 20 Meter, während sie hangwärts wahrscheinlich rasch auf mehrere 10 bis eventuell über 100 Meter anschwillt (Anhang 6.3.1). Das Lockermaterial besteht aus einem sehr heterogenen Gemisch von zerrütteten Felspaketen (vornehmlich Kalke des Lias und Malm bis hin zu stark verlehmten Lagen aus Schiefergesteinen des obersten Lias und Opalinuston). Dazwischen kommen blockreiche, kantige Kiese sowie unterschiedlich tonige Silte mit Kies und Steinen vor. Eine typische, harte Grundmoräne sowie stellenweise direkt der anstehende Fels (Quartenschiefer der Oberen Trias) bilden im Bereich "Bätschen-Dorfzentrum" die Unterlage der Rutschmasse. Durch die schon seit den Eiszeiten andauernden Bewegungen wurden die Schuttmassen in Kompartimente zerteilt, die durch stark tonige Gleitflächen begrenzt sind. Gegen die Terrassenkante hin verdichten sich diese Flächen zu einem basalen Gleithorizont, der direkt über der Grundmoräne, z.T. auch über dem anstehenden Fels liegt.

Nahe der Terrassenkante ergaben Langzeitmessungen vor 1999 Bewegungsgeschwindigkeiten von 5 bis 8 cm/Jahr (Anhang 6.3.2), wobei sicher von einem schubartigen Verhalten auszugehen ist, worauf auch die Erfahrungen 1999 und danach hinweisen. Weiter hangwärts liegen im mittleren Teil der Rutschmasse die Bewegungen bei rund 2 bis 3 cm/Jahr und im obersten, grössten Teil der Rutschmasse bei etwa 0.5 bis 1.0 cm/Jahr.

1.2 Prozesse

Wegen der mehr oder weniger permanenten Bewegung der gesamten Rutschmasse von Braunwald können sich in Teilbereichen an der Rutschfront oberhalb der Felswand grössere Schubspannungen zwischen einzelnen Lockergesteinskompartimenten sowie lokale Porenwasserüberdrucke aufbauen. Ausgelöst durch extreme Wasserverhältnisse im Lockergestein an und über der Basisgleitfläche sowie eventuell unter der Basisgleitfläche im Fels führt dies episodisch zu Spannungsumlagerungen und einer Beschleunigung der gesamten Rutschmasse gegen die Felswand hinab; das jeweils schwächste Kompartiment kann so in eine schnelle Bewegung geraten. Als Beispiel für diese Prozessauslösung kann das Rutschereignis 1999 betrachtet werden. Die Witterungsbedingungen im Herbst 1998/Winter 1999 waren ausserordentlich: Die Monate September bis November waren alle deutlich zu nass. Nach einem frühen Wintereinbruch führten ab Ende Januar bis Ende Februar 1999 extreme Schneefälle zur einer Schneehöhe von 3.5 m im Bereich des Rutschanrisses (der Wasserwert dieser Schneemenge betrug auf 1500 m ü.M. Ende Februar 896 mm, am 15. März 1'003 mm). Am 20. Februar unterbrach intensiver Regen bis gegen 1'500 m ü.M. die Schneefälle. Dies wird als auslösendes Moment für die Rutschung 1999 "Bätschen" angesehen. Die Fussentlastung durch die Abbrüche anfangs März bewirkte ein Rückschreiten der Bewegungsfront und führte dann zum Abgleiten der Hauptmasse. Der Bewegungsschub wirkte mit Schwankungen offenbar bis ins Jahr 2001 nach; heute liegen die Bewegungen bei einem weiterhin ruckartigen Verhalten nur noch wenig über dem langjährigen Mittel.

1.3 Gefahrenpotenzial

Der Ereigniskataster gibt Hinweise darauf, dass alle 15 ÷ 20 Jahre ein grösserer Ausbruch von Teilrutschmassen entlang der Felskante erfolgte. Nicht jedes Ereignis tangierte dabei eingezontes Gebiet in Braunwald; selten kam es dabei zu einer Bedrohung durch Murgänge im Tal.

Aus dem Gebiet “Bätschen” wie auch aus anderen Bereichen entlang der Terrrassenkante von Braunwald sind langfristig weitere Ausbrüche über die Felswand zu erwarten. Die Kubaturen pro Ereignis dürften aber einige 10‘000 m^3 - welche zudem wahrscheinlich in rasch aufeinanderfolgenden Einzelschüben abgehen dürften - kaum übersteigen. Die Schutzmassnahmen im Tal in Rüti im Bereich der Wüechtenrus-Teufrus sind auf diese Einschätzung ausgelegt. Grosse, ins Tal abgehende Murgänge können wichtige Infrastrukturanlagen (z.B SBB-Linie) gefährden oder zu einem Stau der Linth mit Folgeschäden durch Überflutung führen (vgl. Ereignis "Bätschen" 1999). Einzelereignisse mit Kubaturen über 100‘000 m^3 sind bei einem Zeithorizont von mehreren Generationen nicht völlig auszuschliessen (Restrisiko). Aufgrund der heutigen Erfahrungen wird jedoch eine genügende Vorwarnzeit zur Verhinderung von Personenschäden als gegeben betrachtet.

2. Gefahrenstufen-Diagramme

2.1 Bundesempfehlung 1997 (Anhang 6.3.3)

Gemäss Diagramm der Bundesempfehlungen werden die Gefahrenstufen direkt aus den Intensitäten abgeleitet, wobei die langjährige Bewegungsgeschwindigkeit allein massgebend ist für die Einstufung der geringen und mittleren Intensität. Die starke Intensität kann nur für ausgeprägte Differentialbewegungen oder starke Reaktivierungen sowie bei extremen Verschiebungen von > 1 m pro Ereignis zugeordnet werden.

Die Gebiete mittlerer Intensität fallen unter Berücksichtigung der wenigen Geschwindigkeitsmesspunkte und unserer geologischen Einschätzung der Situation (Grossbruchränder) im mittleren Teil der Rutschmasse gross aus.

Die Gebiete mit der höchsten Gefährdung (Rot) können nur mit dem Kriterium "ausgeprägte Differentialbewegungen" resp. Verschiebungen von > 1m/Ereignis begründet werden, deren Umgrenzung und Einschätzung lässt jedoch viel Spielraum offen (? Zeithorizont, generelle geologische Datenlage etc.). Mit Fug und Recht könnte man Rot auch wesentlich grösser oder kleiner zeichnen.

4.2 Vorschlag AGN, November 2003 (Anhang 6.3.4)

In den felswandnahen, steilen Geländeteilen wird generell von einem mittleren Potenzial für Reaktivierungen ausgegangen. Die Zuweisung erfolgt nach den Angaben im Ereigniskataster, der Karte der Phänomene und v.a. den Bewegungsmessungen seit dem Rutschereignis 1999. Damit wird dieses Gebiet rot (Feld 2_R), da die langjährige durchschnittliche Bewegungsgeschwindigkeit zwischen 2 und 10 cm/Jahr liegt. Potenzielle Anrisszonen in den kantennahen Bereichen mit Anzeichen für eine verstärkte Wasserzirkulation weisen ein starkes Reaktivierungspotenzial auf resp. das Risiko für Spontanrutschungen ist in diesen Gebieten erhöht (Zeithorizont bis 30 Jahre; gemäss Ereigniskataster mittlere Eintretenswahrscheinlichkeit und starke Intensität, M > 2m, zu erwarten). Diese Areale werden daher dem Feld SpR (rot) zugeordnet; eine Bezeichnung 2_{RR} wäre auch möglich.

Generell kann gesagt werden, dass angesichts der normalerweise zur Verfügung stehenden Basisinformationen die Abgrenzung der permanenten Rutschungen von den Spontanrutschungen immer eine recht subjektive Beurteilung des Bearbeiters bleiben wird und die entsprechenden Kriterien schwierig zu definieren sind. Der diesbezügliche Vorschlag im AGN-Vorgehen scheint uns aber ein gangbarer Weg zu sein.

In den direkt bergwärtig anschliessenden Rutschgebieten wird ebenfalls von einem mittleren Reaktivierungspotential ausgegangen (Feld 2_R, rot); Spontanrutschungen werden hier aber nicht mehr erwartet, das Reaktivierungspotential ist aber durch die 1999-er Ereignisse belegt.

Die daran anschliessenden Areale mit grosser Rutschmächtigkeit werden aufgrund der räumlichen Beziehungen zu den Ereignissen 1999 und den vorliegenden Bewegungsdaten mit einem mittleren Potenzial für Reaktivierungen belegt, weisen aber wegen der grossen Mächtigkeit eine reduzierte Gefährdung auf (Feld 2_{RT}, blau).

Im relativ flachen Gebiet bei der Höhenklinik südlich des Dorfkerns ist gemäss heutigem Kenntnisstand eine Rutschmächtigkeit unter 20 m zu erwarten; zusammen mit einem geringen Reaktivierungspotential ergibt sich blau (Feld 2).

Gebietsstreifen im Bereich der deutlich erkennbaren Grossbruchränder werden wegen des Risikos differenzieller Bewegungen blau (Feld 2_{T^*}) eingestuft, obwohl dort eine grosse Rutschmächtigkeit vorliegt. Dies ist unserer Ansicht nach v.a. aus raumplanerischer Sicht sinnvoll, da klar signalisiert werden sollte, dass Bauten in diesem Bereich längerfristig gefährderter sind als in grösserer Distanz zu diesen Zonen. Man könnte sich auch eine gelbe Farbe mit einer Spezialsignatur vorstellen. Jedenfalls sollten hier für Bauten detailliertere Abklärungen gemacht und gegebenenfalls entsprechende Auflagen ausgesprochen werden.

Die übrigen Areale mit grosser Rutschmächtigkeit (über ca. 30 m), wo gemäss Ereigniskataster praktisch keine Schäden bekannt sind, aber Bewegungen > 2 cm/Jahr anzunehmen sind, werden dem Feld 1_T zugeordnet (gelb).

Der weit überwiegende Teil der Rutschmasse von Braunwald (Skigebiet, Alpen) mit langjährigen Geschwindigkeiten unter 2 cm/Jahr und geringem Risiko für differenzielle Bewegungen kann dem Feld 1 (gelb) zugewiesen werden.

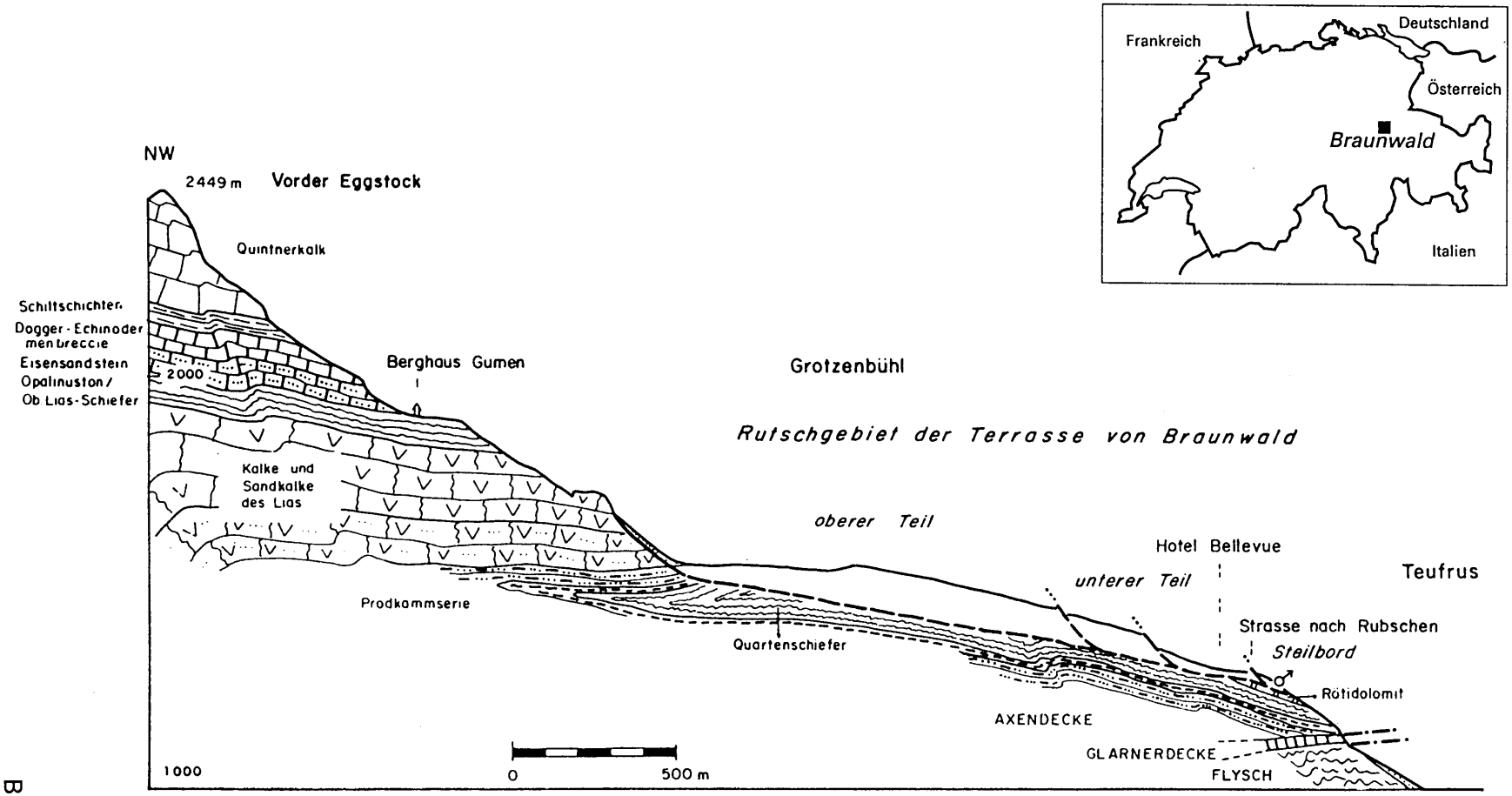
3. Vergleich der Resultate

Die Anwendung der Bundesempfehlung 1997 in Braunwald zeigt, dass bei den vorliegenden Geschwindigkeitsinformationen, die auf das Kerngebiet konzentriert sind, die Abgrenzungen recht subjektiv ausfallen können. Ein weiteres Problem stellt sich dadurch, dass es nicht vorgesehen ist, ein Gebiet mit geringen durchschnittlichen Bewegungen ($v \leq 2$ cm/Jahr) aufgrund starker differentieller Bewegungen (Teilschollenränder) der mittleren Intensität zuzuordnen. Der - mindestens bei grossen Rutschmassen - stabilisierende Effekt einer grossen Mächtigkeit geht bei der reinen Geschwindigkeitsbetrachtung nicht in die Gefahrenbeurteilung ein, was zur Folge hat, dass ein sehr grosses Gebiet blau wird.

Der AGN-Vorschlag 2003 berücksichtigt auf generell nachvollziehbare Weise die abmindernden und verstärkenden Effekte hinsichtlich der Intensität unserer Ansicht nach besser. Das Potenzial für Reaktivierungen und differenzielle Bewegungen muss aber auch hier v.a. auf die Einschätzung des Bearbeiters abstellen; mit der Codierung der entsprechenden Teilflächen werden aber dessen Überlegungen nachvollziehbarer. Aus dieser Sicht ist der AGN-Ansatz auch aus eher juristischer Perspektive die ausgewogenere Variante der Diagramme, auch wenn die Dis-

kussion über die Definitionen von Reaktivierung und differenzieller Bewegung wohl noch nicht abgeschlossen sind.

Es sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass eine Einstufung gemäss Glarner Vorgaben u.E. zu einer widersprüchlichen Gefahreneinschätzung führt, da die vorgeschlagene Einstufung mit der höchsten Intensität bei den grössten Mächtigkeiten im Widerspruch zur realen Gefährdung steht. Der Ansatz impliziert bereits die Gefahrenabwehrmöglichkeiten, stellt also eigentlich eine Vermischung der geologisch zu begründenden Intensitätseinstufung mit Gegenmassnahmen dar. Erfahrungsgemäss ist das Schadenausmass bei tiefgründigen Rutschungen - selbstverständlich mit Ausnahme von Gebieten mit grossen differenziellen Bewegungen (Schollengrenzen) - deutlich kleiner als bei flachgründigen.



Figur 1: Geologisches Querprofil Eggstock-Grotzenbühl-Hotel Bellevue, nicht überhöht.

aus Schindler 1982

Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren

Revision Gefahrenstufen-Diagramm permanente Rutschungen

Fallbeispiel 6.3
Rutschgebiet Braunwald (GL)

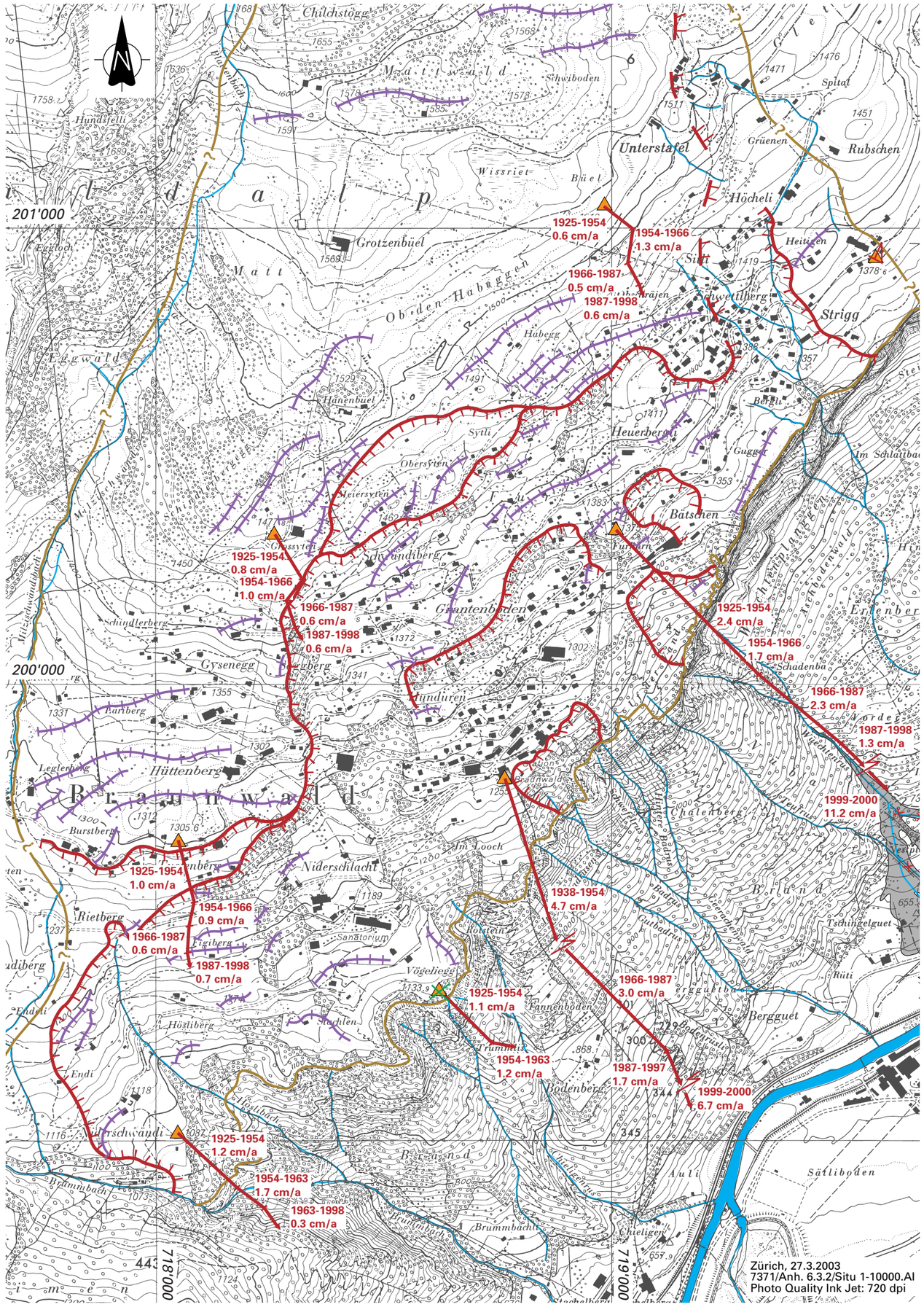
Übersichtskarte 1:10'000

Legende:

- wahrscheinliche Grenze Rutschgebiet
- Grossbruchrand
- Nackentälchen
- Murgangablagerungen März 1999
- Vermessungsfixpunkt
- Vermessungsfixpunkt 1996 abgestürzt



Bewegung in cm/a (Massstab 1:20)



Zürich, 27.3.2003
7371/Anh. 6.3.2/Situ 1-10000.AI
Photo Quality Ink Jet: 720 dpi

Dr. von Moos AG
Geotechnisches Büro
Beratende Geologen und Ingenieure
Bachofnerstrasse 5 8037 Zürich

Gez.	Kontr.	Datum	
WM	SF	Feb. 03	Anhang: 6.3.2
MP	SF	27.3.03	Bericht: vM 7371
			Format: A3

Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren

Revision Gefahrenstufen-Diagramm
permanente Rutschungen

Fallbeispiel 6.3
Rutschgebiet Braunwald (GL)

Gefahrenkarte 1:5'000, Bundesempfehlung 1997

Legende:

Fels, anstehend, Trias (Quartenschiefer, Rötidolomit), Lias (Kalke, Sandkalke)

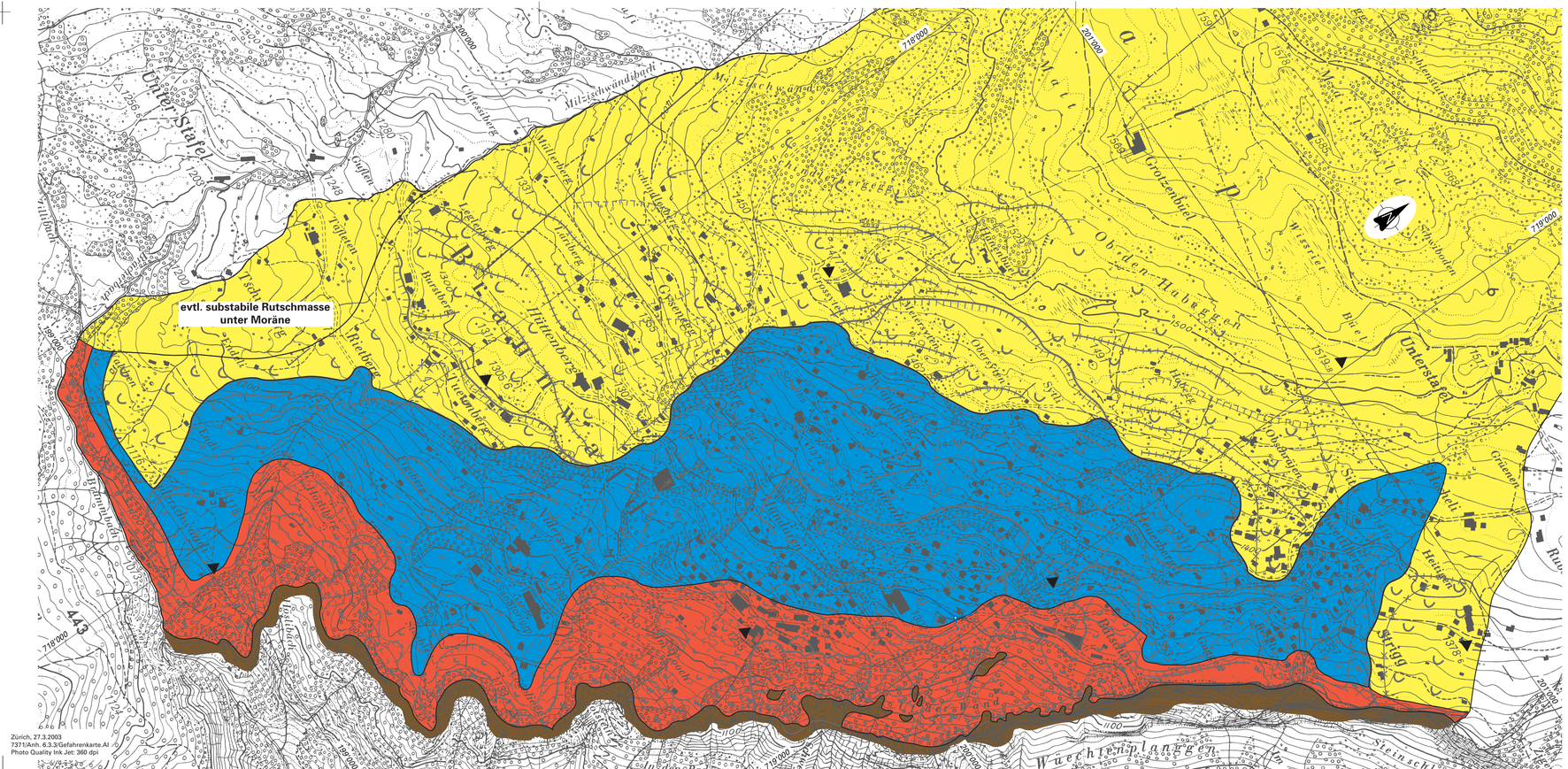
kontinuierliche Prozesse:

geringe Gefährdung	Bewegungen 2 cm/Jahr
mittlere Gefährdung	Bewegungen > 2 cm/Jahr
erhebliche Gefährdung	Bewegungen > 1 m/Ereignis oder mit Risiko starker differentieller Bewegungen oder Reaktivierungen

▲ Polygonpunkt mit langjährigen Bewegungsmessungen

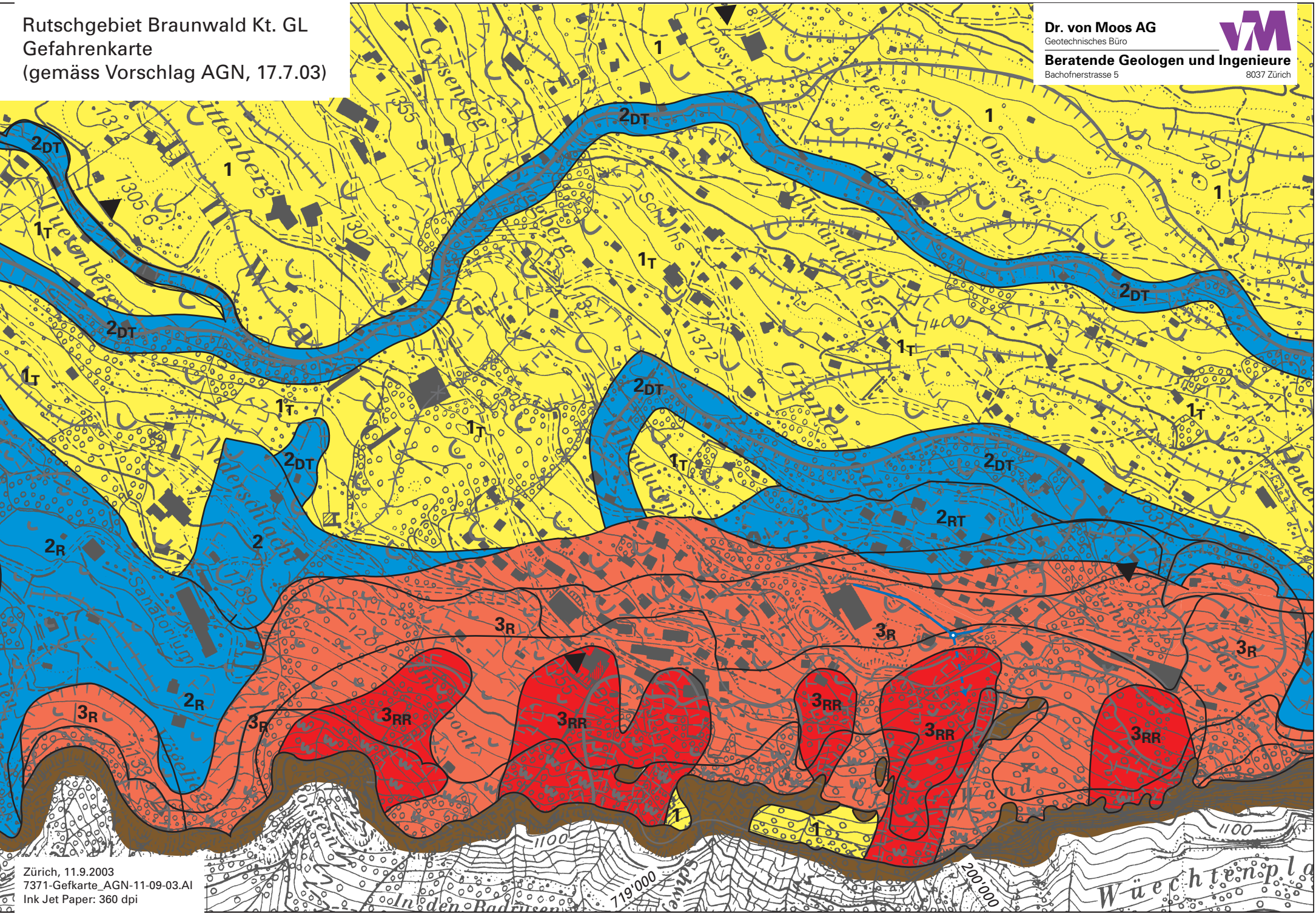
Dr. von Moos AG
Geotechnisches Büro
Beratende Geologen und Ingenieure
Bachofnerstrasse 5 8037 Zürich

Gez.	Kontr.	Datum	
MP	SF	26.2.03	Anhang: 6.3.3
MP	SF	27.3.03	Bericht: vM 7371
			Format: 30 x 105



Rutschgebiet Braunwald Kt. GL
Gefahrenkarte
(gemäss Vorschlag AGN, 17.7.03)

Dr. von Moos AG
Geotechnisches Büro
Beratende Geologen und Ingenieure
Bachofnerstrasse 5 8037 Zürich



Zürich, 11.9.2003
7371-Gefkarte_AGN-11-09-03.AI
Ink Jet Paper: 360 dpi

Fallbeispiel Lugnez

1. Geologische Übersicht

Das Lugnez erstreckt sich von südlich Vrin bis nach Ilanz im Norden. Der links des Glogn (Glenner) gelegene, gegen Südosten exponierte Talhang des mittleren Lugnez wird durch eine tiefgründige Schiefersackung geprägt. Diese umfasst insgesamt eine Fläche von ca. 30 km^2.

Das mittlere Lugnez ist geologisch aus den Sedimenten des Gotthard-Massivs aufgebaut, die einen autochthonen und einen allochthonen Anteil umfasst. Die Schichtreihe der allochthonen Scopi-Zone besteht aus Gesteinen der sogenannten Coroi-, der Inferno und der Stgir-Serie. Es handelt sich dabei um Ton- und Kalkschiefer sowie um Sandkalke und Quarzite. Die Gesteine zeigen eine Metamorphose der Grünschiefer-Fazies. Die Schichtung bzw. die Schieferung fällt mit ca. 20 - 30° gegen SSE bis SE, also ± hangparallel ein.

Umfassende, publizierte Angaben zur Schiefersackung des mittleren Lugnez finden sich in Jäckli (1957), Nabholz (1975), Ziegler (1982) und Noverraz et al. (1996/1998).

Jäckli (1957) bezeichnet die Bewegung als Schieferrutschung, während Nabholz (1975) die Bezeichnung Sackung, bzw. Schiefersackung vorschlägt, was von Ziegler übernommen wird. Noverraz et al. sprechen von «glissement», das subparallel zu den Schichtflächen verläuft.

Die mittlere Neigung des sich in Bewegung befindlichen Hanges beträgt ca. 15° und verläuft mehr oder weniger parallel zum Einfallen der Schieferung (Nabholz 1975). Es handelt sich um eine tiefgründige Bewegung; die basale Gleitfläche liegt nach Ziegler (1982) in mehr als 100 m Tiefe.

Aufgrund der absoluten Bewegungsrichtungen der Sackungsmassen und des Fehlens von anstehenden Gesteinen auf der linken Seite des Glenners nehmen Noverraz et al. (1996/1998) an, dass die aktuelle Gleitfläche auf dem heutigen Niveau des Glenner horizontal ausstreicht. Daraus resultiert eine maximale Mächtigkeit der Sackungsmasse von 250 m. Noverraz et al. interpretieren die am Gegenhang gelegene Alluvialterrasse von Uors als ein altes Niveau der basalen Rutschfläche. Die nachträgliche Tiefenerosion des Glenners auf das heutige Niveau hat zur Aktivierung der aktuellen Gleitfläche und damit der heutigen Grossrutschung geführt.

Aufgrund der feststellbaren Verschiebungsbeträge und der Öffnungsweite der Nackentälchen am Stein und am Piz Mundaun hat Nabholz (1975) einen Beginn der Sackungsbewegungen vor ca. 3600 Jahren v. Chr. abgeschätzt.

2. Prozess Rutschungen (Anhang 7.1)

Die Bewegungsbeträge im Sackungsgebiet liegen zwischen < 2 cm bis > 10 cm pro Jahr (Noverraz et al. 1996/1998).

Die grössten Bewegungen finden bei Peiden und im Fussbereich der Sackung südwestlich des Val Conda (Villa) bis in den Bereich östlich von Lumbrein statt. In diesem Gebiet finden grosse Bewegungen aber auch relativ weit hangaufwärts bis auf ca. 1'760 m ü.M. statt.

Weite Gebiete nordwestlich von Degen bis hinauf zum Kamm des Piz Sezner/Piz Mundaun zeigen ebenfalls grosse Bewegungsbeträge von 5 - 10 cm/Jahr.

Gebiete rund um Vella und Cumbel und oberhalb 1'760 m nördlich von Lumbrein zeigen mittlere Bewegungsbeträge von 2 – 5 cm/Jahr.

Gebiete in Kammlagen und am Rand der Schiefersackung zeigen geringe Bewegungsbeträge von < 2 cm/Jahr.

Die Hauptsackungsmasse bewegt sich in grossen, zusammenhängenden Kompartimenten talwärts. Die basale Gleitfläche liegt auf bis zu 250 m unter der Terrainoberfläche. Die Sackung wird durch zahlreiche sekundäre Gleitflächen in unterschiedlicher Tiefe zertrennt. Die geologische Kartierung des Gebietes zeigt in einzelnen Bereichen eine starke Desintegration der oberflächennahen Festgesteine und deren Moränenbedeckung.

Die Morphologie des gesamten Gebietes ist sehr unruhig. Im Kammbereich treten zahlreiche Nackentälchen auf, welche die Hauptssackung begrenzen. Innerhalb der Sackungsmasse finden sich weitere Nackentälchen von sekundären Komparimenten, Anrissränder, sekundäre Locker- und Festgesteinsrutschungen, vernässte Gebiete etc.

Der Fuss der Hauptsackung ist geprägt durch die starke Tätigkeit des Glenners, welcher die teilweise übersteilten Bereiche des Hangfusses erodiert.

3. Gefahrenpotential

Das Gebiet der Lugnezer Schiefersackung wird seit historischer Zeit bewohnt und bewirtschaftet. Im gesamten Gebiet finden sich acht Gemeinden sowie eine grosse Anzahl von Einzelgebäuden. Das Gebiet ist durch zahlreiche Strassen und Wege erschlossen.

An vielen dieser Bauten wurden und werden immer wieder Schäden festgestellt, die auf die Rutschbewegungen zurückgeführt werden können. Offensichtlich sind die lokalen differenziellen Bewegungen im Allgemeinem aber nicht so gross, dass irreparable bzw. unakzeptable Schäden auftreten würden. In den 50er-Jahren wurde eine Umsiedlung des Ortes Peiden ins Auge gefasst.

Langjährige Messreihen von verschiedenen Fixpunkten zeigen bei einzelnen Punkten seit den 40er-Jahren eine geringe Abnahme der Verschiebungen. Die meisten Punkte weisen jedoch keine signifikante Tendenz auf (Noverraz et al. 1996/1998).

Einzelne Messpunkte zeigen für ein oder mehrere aufeinanderfolgende Jahre eine deutliche Zunahme der Bewegungsgeschwindigkeit, um anschliessend wieder auf einem «normalen» Niveau zu verharren.

4. Gefahreneinstufung

Das vorliegende, grossmassstäblich gewählte Fallbeispiel beschreibt eine tiefgründige, grossflächige Schiefersackung. Die Gefahreneinstufung erfolgt auf der Basis einer geologischen Karte 1:25'000 beziehungsweise einer Karte der Rutschung 1:10'000 und dazugehöriger Querprofile (Noverraz 1996) sowie aufgrund von langjährigen Messreihen von Fixpunkten. Basierend auf den grossmassstäblichen Kartierungen wurden grossräumig Rutschbereiche

zusammengefasst. Es wird davon ausgegangen, dass die Fixpunkte das Bewegungsverhalten von diesen ± zusammenhängenden Gebieten charakterisieren. Kleinräumige differenzielle Bewegungen sowie oberflächennahe Rutschungen werden nicht berücksichtigt.

Bisherige Methodik

Bei der bisherigen Methodik bestimmt die Intensität (Rutschgeschwindigkeit) die Einstufung. Starke differenzielle Bewegungen oder Verschiebungen von > 1 m pro Ereignis können mitberücksichtigt werden und führen zu einer Einstufung in den roten Bereich (starke Intensität).

Wird die bisherige Methodik der Gefahreneinstufung auf die Schiefersackung Lugnez angewendet, so gibt ergibt sich folgende Beurteilung:

- Es gibt keine «Gebiete mit einer vernachlässigbaren Gefährdung» («weisse» Gebiete).
- Einzelne, randliche Bereiche mit einer Bewegungsrate von < 2 cm/Jahr sind als «Gebiete mit geringer Gefährdung», «gelbe Gebiete» (Intensität klein) einzustufen *(Anhang xxx*, Klasse 1).
- Der grosse Teil des Gebietes weist Bewegungen von > 2 cm pro Jahr bis > 10 cm pro Jahr auf. Somit sind diese als «Gebiete mittlerer Gefährdung», «blau» (Intensität mittel) einzustufen *(Anhang xxx*, Klassen 2, 3 und 4).
- Gebiete mit Bewegungen die grösser als 10 cm/Tag sind und aufgrund der geologischen Karte 1:25'000 Differenzialbewegungen aufweisen wurden mit «erheblicher Gefährdung», «rot» (Intensität stark), eingestuft. Es sind dies Rutschkompartimente am Hangfuss im Einflussbereich des Glenners.

Neue Methodik ***(Anhang 7.2)***

Die Anwendung der von der AGN vorgeschlagenen, neuen Methodik der Gefahreneinstufung ermöglicht neben der Berücksichtigung von Differenzialbewegungen auch den Einbezug des Potentials zur Reaktivierung und des Tiefgangs einer Rutschung.

Mögliche Differenzialbewegungen wurden aufgrund der geologischen Karte für die zusammenhängenden Rutschbereiche beurteilt. Das Potenzial zur Reaktivierung wurde aufgrund langjähriger Datenreihen von Messpunkten abgeschätzt. Der Tiefgang basiert auf geologischen Querprofilen und bezieht sich auch die grossmassstäblich ausgeschiedenen Rutschbereiche.

Daraus ergibt sich folgende, differenziertere Gefahrenbeurteilung:

- Es gibt keine «weissen Gebiete».
- Einzelne, randliche Bereiche mit geringen Bewegungsraten bleiben «gelbe Gebiete» (Feld 1, schwache Intensität).
- Grosse, zusammenhängende Gebiete mit geringen oder mittleren Bewegungsraten (Klassen 2 und 3, ursprünglich «blau» eingestuft) die aufgrund der geologischen Karte 1:25'000 keine ausgeprägten morphologischen Anzeichen für Differenzialbewegungen zeigen, können aufgrund des grossen Tiefgangs der Rutschung neu als «gelbe Gebiete» (Feld 1, schwache Intensität) eingestuft werden.

- Viele Gebiete sind von den Bewegungsraten weiterhin als Gebiete mit mittlerer Intensität («blau») einzustufen (Feld 2 im Diagramm).
- Einzelne blaue Gebiete weisen aufgrund der Analyse der langjährigen Messreihen ein grosses Potential zur Reaktivierung auf. Diese wurden neu als «rot» eingestuft.
- Gebiete mit starken Differentialbewegungen im Hangfussbereich sind trotz des Tiefganges der Rutschung und mittleren Bewegungsraten weiterhin «rot» einzustufen, da sie keine zusammenhängenden Bereiche darstellen.

5. Vergleich der Methoden, Folgerungen

Die Anwendung der alten wie auch der neuen Methode der Gefahreneinteilung von kontinuierlichen Rutschungen ergibt für das Fallbeispiel der Schiefersackung Lugnez unterschiedliche Resultate. Die tiefe Lage der Hauptgleitfläche der Schiefersackung führt dazu, dass einzelne, zusammenhängende Bereiche von «blau» auf «gelb» zurückgestuft werden können.

Aufgrund der festgestellten Bewegungsgeschwindigkeiten sind die Intensitäten in den meisten Teilgebieten als «mittel» zu charakterisieren. Der Einbezug des Potenzials zur Reaktivierung und/oder der Differenzialbewegungen erlaubt eine bessere Charakterisierung und somit eine transparentere Einstufung der einzelnen Gebiete.

Ein grosser Teil der Rutschgebiete im mittleren Lugnez liegt in den Feldern 1 und 2 (gelb und blau) des neuen Gefahrenstufendiagramms und sind somit im Bereich geringer oder mittlerer Gefährdung einzustufen. Aufgrund des grossen Tiefgangs der Gleitfläche sind die Beeinträchtigungen von Gebäuden und Menschen kurzfristig oder mittelfristig nur relativ gering. Langfristig sind sie jedoch relevant.

Die nach AGN-Ansatz vorgenommene Einstufung widerspiegelt in etwa auch die Besiedlung und die Nutzung der Landschaft.

Das vorgestellte Fallbeispiel ist als *Modell* für tiefgründige Rutschungen zu betrachten. Die Resultate basieren auf Kartenunterlagen und Messdaten. Um eine effektive Gefahrenbeurteilung vorzunehmen, ist die Bearbeitungstiefe durch zusätzliche Feldaufnahmen in einem detaillierteren Massstab zu vergrössern.

Fallbeispiel:
Schiefersackung Lugnez

Mittlere Bewegungen pro Jahr
(nach Noverraz et al. 1996/1998)

N

Legende

- Klasse 1: < 2 cm / J. → Intensität klein
- Klasse 2: 2–5 cm / J.
- Klasse 3: 5–10 cm / J. → Intensität mittel
- Klasse 4: > 10 cm / J.
- Klasse 4 + Differenzialbewegungen → Intensität stark
- keine Angabe

1 km

Glogn (Glenner)

030042 Gefahrenklassierung_bisher.dsf Ga/RW

jäckli Geologie Geotechnik Grundwasser
Dr. Heinrich Jäckli AG
Zürich · Baden · Schwyz · Winterthur

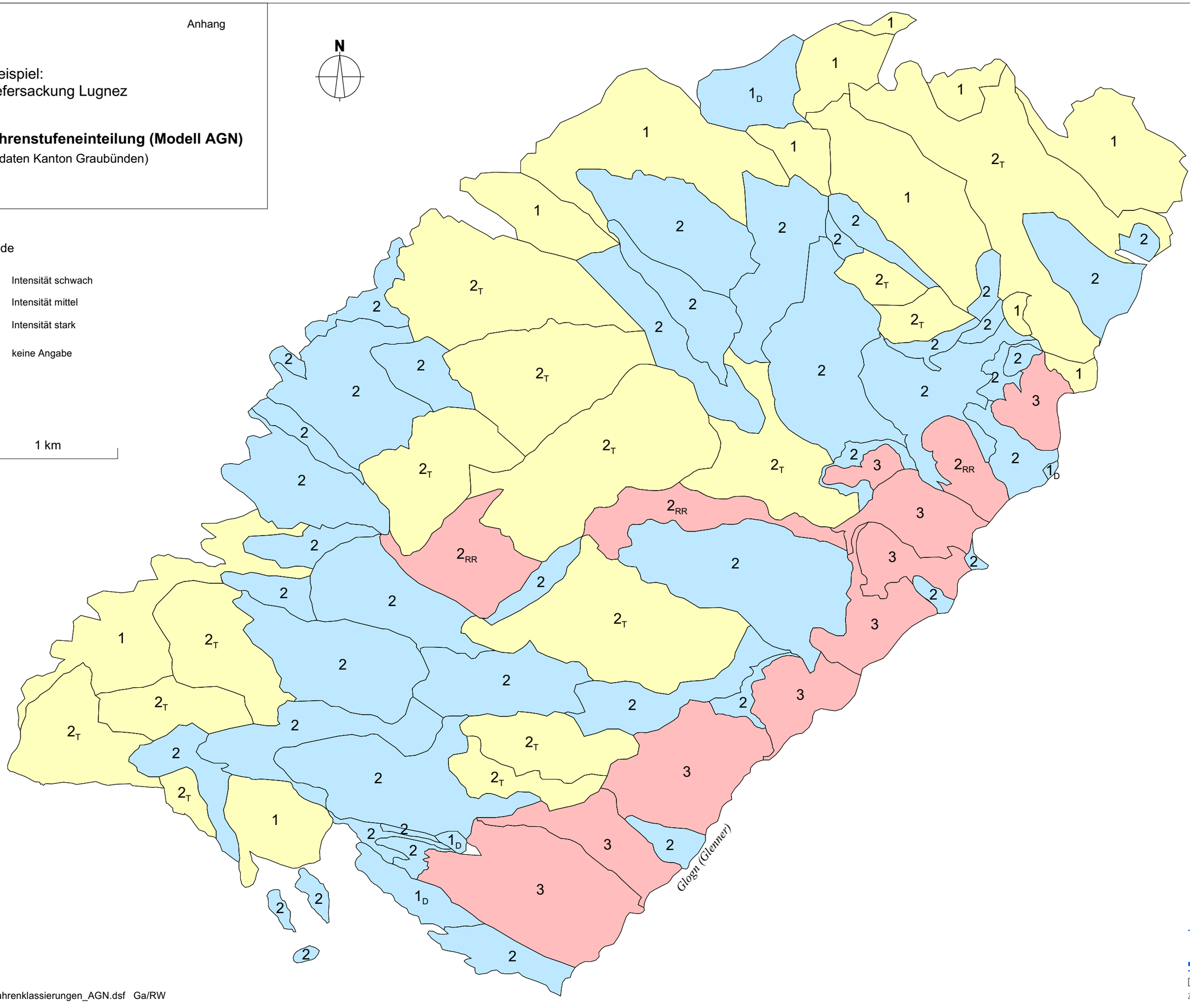
Fallbeispiel:
Schiefersackung Lugnez

Gefahrenstufeneinteilung (Modell AGN)
(Messdaten Kanton Graubünden)

Legende

- Intensität schwach
- Intensität mittel
- Intensität stark
- keine Angabe

1 km



030042 Gefahrenklassierungen_AGN.dsf Ga/RW

jäckli Geologie Geotechnik Grundwasser
Dr. Heinrich Jäckli AG
Zürich · Baden · Schwyz · Winterthur