FAN Praxiskurs
«Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren»

Modul RUTSCHUNGEN

Autoren:

Daniel Tobler und Rachel Riner, GEOTEST AG
Tel. 031 910 01 01, daniel.tobler@geotest.ch

Andreas Huwiler, Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Graubünden
Tel. 081 257 38 67, andreas.huwiler@awn.gr.ch

Stephan Wohlwend, Abteilung Naturgefahren, Abt für Bevölkerungsschutz (ABS) Liechtensteinische Landesverwaltung
Tel. +423 236 64 04, stephan.wohlwend@llv.li

Im Auftrag von

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Der Praxiskurs «Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren» der Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN) im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) bietet Berufseinsteigern mit geringer praktischer Erfahrung in der Gefahrenbeurteilung eine Möglichkeit, sich Fachkenntnisse zur Beurteilung von gravitativen Naturgefahrenprozessen anzueignen, entsprechende Fähigkeiten zu trainieren und diese zielgerichtet anzuwenden.

Projektleitung

Eva Gertsch-Gautschi, BAFU
Christoph Graf, FAN (Gesamtprojektleiter)
Nils Hählen, FAN
Wolfgang Ruf, BAFU

Begleitgruppe

Bernard Loup, BAFU, Sektion Rutschungen, Lawinen und Schutzwald
Jörg Häberle, KAWA, Abteilung Naturgefahren Kanton Bern
Roland Wyss, Dr. Roland Wyss GmbH

Kontakt

Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN)
c/o Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Gebirgshydrologie und Massenbewegungen
Christoph Graf
Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf
+41 44 7392 454
christoph.graf@wsl.ch

Zitiervorschlag

Tobler Daniel (Modulleitung), Riner Rachel, Huwiler Andreas, Wohlwend Stephan 2019: Skript Modul RUTSCHUNGEN. Praxiskurs Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren. Fachleute Naturgefahren Schweiz FAN. V. 0.1, 44 S.

Bezug

Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN)
c/o geo7 AG
Neufeldstrasse 5-9
3012 Bern
Tel: 031 300 44 33
kontakt@fan-info.ch

PDF Download

www.fan-info.ch

© Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN), 2019 Druckdatum 03. Mai 2022

Inhalt

1 Einleitung 5
2 Übersicht behandelter Prozesse 5
2.1 Prozesstypen und Klassierung 5
2.2 Permanente Prozesse 6
2.2.1 Permanente Rutschungen 6
2.2.2 Sackungen 8
2.2.3 Hangkriechen 8
2.3 Spontane Rutschungen und Hangmuren 9
2.3.1 Hangmuren und kleine spontane Rutschungen 9
2.3.2 Grosse spontane Rutschungen 10
3 Disposition 10
4 Methodik Überblick – Grundlegende Arbeitsschritte 11
4.1 Allgemein 11
4.2 Vorgehen und Ablauf im Überblick 12
4.2.1 Permanente Rutschungen 14
4.2.2 Spontane Rutschungen / Hangmuren 15
5 Vorgehen und Ablauf im Detail („Best Practice“) 16
5.1 Auftrag 16
5.2 Grundlagen 16
5.3 Ereigniskataster 17
5.4 Schutzbautenkataster resp. Berücksichtigung bestehender Schutzbauten 18
5.5 Vorbereitung Begehung 18
5.6 Durchführung Begehung 19
5.6.1 Permanente Rutschungen 19
5.6.2 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen 21
5.6.3 Grosse spontane Rutschungen 23
5.7 Szenarienbildung 23
5.7.1 Allgemein 23
5.7.2 Permanente Rutschungen 23
5.7.3 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen 24
5.7.4 Grosse spontane Rutschungen 26
5.8 Berechnungen und Simulationen 26
5.8.1 Permanente Rutschungen 26
5.8.2 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen 26
5.8.3 Grosse spontane Rutschungen 27
5.9 Ausarbeitung Intensitätskarten (und Gefahrenkarte) 28
5.9.1 Permanente Rutschungen 28
5.9.2 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen 28
5.9.3 Grosse spontane Rutschungen 28

5.10 Plausibilisierung (im Gelände) 29
5.11 Allgemeine Dokumentation 29
6 Weitere Themen 30
6.1 Einfluss Klimawandel 30
6.1.1 Permanente Rutschungen und Hangkriechen 30
6.1.2 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen 31
6.1.3 Grosse spontane Rutschungen 31
6.2 Prozessketten 32
6.3 Präsentation/Kommunikation der Resultate 32
6.4 Umgang mit Unsicherheiten 32
6.5 Qualitätssicherung 32
Literatur 33
Glossar 35
Linkverzeichnis 37
Anhang 1 – Flussdiagramm Hangmuren 38
Anhang 2 – Kriterien zur Bestimmung der Intensität 40
Anhang 3 – Beispiele für Faktenblätter 43

1 Einleitung

Ziel des vorliegenden Skripts ist, den heutigen Stand der Technik bei der Gefahrenbeurteilung von Rutschprozessen auf Stufe Gefahrenkarte (M2[1]) zusammenzufassen. Wenn das Ziel einer Gefahrenbeurteilung die Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte (M1) oder das Ermitteln von Einwirkungen oder das Planen von Massnahmen (M3) ist, ist das hier vorgestellte Vorgehen anzupassen.

Das Skript orientiert sich im Grundsatz an der Vollzugshilfe des BAFU 2016 und wird punktuell mit in der Praxis und Forschung gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungen ergänzt. Es definiert und charakterisiert die wichtigsten Prozesse und beschreibt das Vorgehen sowie die Methodik bei der Beurteilung von Rutschprozessen. Einzelne Berechnungstools und Modelle werden kurz vorgestellt, jedoch nicht detailliert abgehandelt.

Das Skript repräsentiert den aktuellen Wissensstand, erhebt jedoch keinen Anspruch, abschliessend zu sein. Die Beurteilung von Rutschprozessen erfordert neben den fachlichen Kenntnissen auch grosse Erfahrung, die mit diesem Skript nur zum Teil vermittelt werden kann.

2 Übersicht behandelter Prozesse

2.1 Prozesstypen und Klassierung

Rutschungen sind gravitative (hangabwärts gerichtete) Verlagerungen von Fest- und/oder Lockergesteinen auf einer Gleitfläche und können den Massenbewegungen zugeordnet werden. Diese Prozessart kann in den unterschiedlichsten Formen auftreten und je nach Untergrund, Gesteinsbeschaffenheit oder hydrogeologischen Bedingungen anders verlaufen. Schätzungsweise 7% der Gesamtfläche der Schweiz sind von Hanginstabilitäten betroffen (BAFU, 2016).

Während sich die *permanenten Rutschungen* oder kriechenden Hänge langsam und kontinuierlich bewegen, treten *spontane Rutschungen* schnell und plötzlich auf. Bei den spontanen Rutschungen ist zu unterscheiden zwischen *kleinen spontanen Rutschungen* (Volumina < 1‘000 m^3) und *grossen spontanen Rutschungen* (Volumina >1‘000 m^3) sowie den *Hangmuren*. Letztere bezeichnen kleine spontane Rutschungen, welche sich verflüssigen.

[1] Gemäss BAFU 2016 nehmen die Anforderungen an die Gefahrenbeurteilung mit dem Detaillierungsgrad zu. Es werden folgende Massstäbe unterschieden: M1: Gefahrenhinweiskarte, grober Massstab; M2: Gefahrenkarte, mittlerer Massstab; M3: Bauprojekt oder Detailstudien; detaillierter Massstab

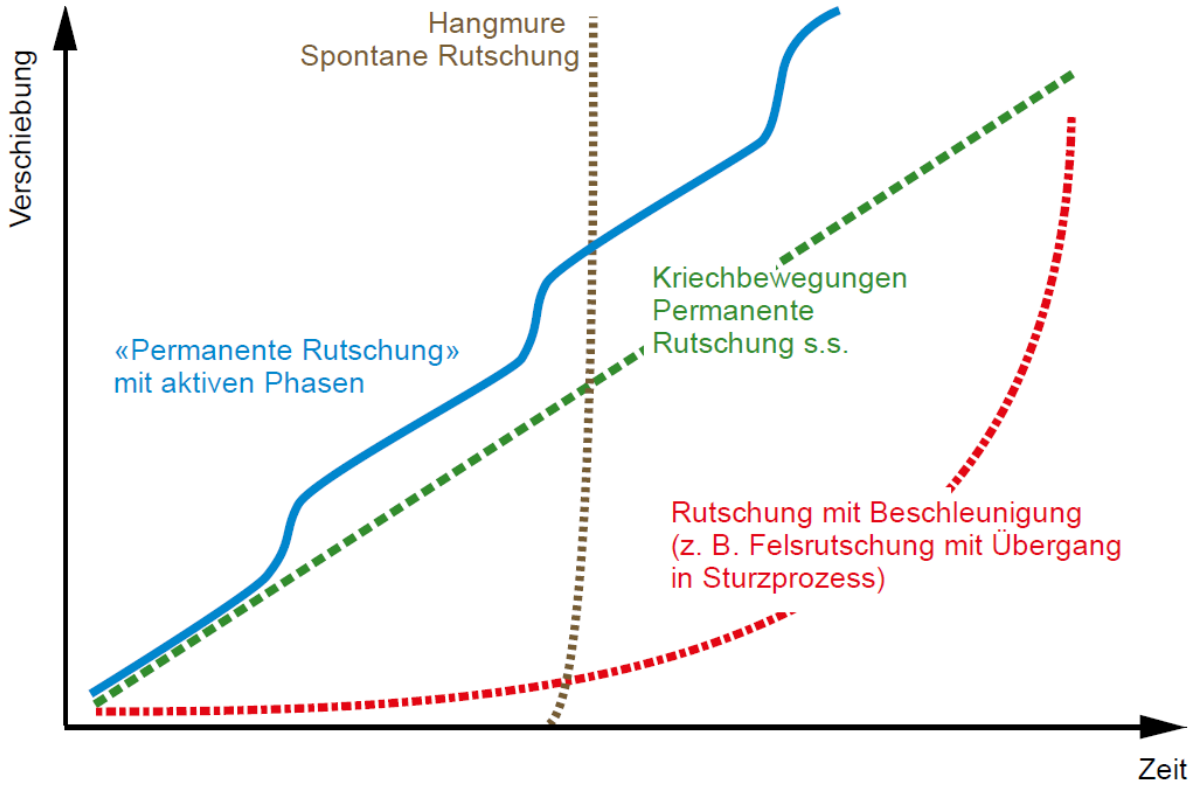


Abbildung 1 Schematische Darstellung von verschiedenen Verschiebungskurven bei Rutschungen (BAFU, 2016). Die permanenten Rutschungen weisen oft eine Zyklizität im Jahresverlauf auf (z. B. erhöhte Bewegungen im Frühsommer bei Schneeschmelze) oder können in Jahren mit hohen Niederschlägen eine Beschleunigung erfahren.

Die Bundesvollzugshilfe für Massenbewegungen (BAFU, 2016) unterscheidet die Rutschungen primär in Abhängigkeit des Bewegungsmechanismus (Abbildung 1). So wird unterschieden zwischen *Gleit-* und *Fliessprozessen*, wobei die Hangmuren aufgrund ihrer starken Verflüssigung den Fliessprozessen zuzuordnen sind.

In der Praxis werden die Rutschungen meist nach dem Kriterium der Bewegungsart in permanente Rutschungen inkl. ihrer Endglieder (Sackungen, Hangkriechen) und Hangmuren inkl. kleiner spontaner Rutschungen unterteilt. Die grossen spontanen Rutschungen werden mehrheitlich als Sonderfall behandelt.

2.2 Permanente Prozesse

2.2.1 Permanente Rutschungen

Permanente Rutschungen verschieben sich mehr oder weniger kontinuierlich und gleichmässig über einen längeren Zeitraum hinweg hangabwärts (Jahrzehnte - Jahrhunderte). Je nach Lage/*Gründigkeit* der Gleitfläche wird unterschieden zwischen flach- (<2 m), mittel- (2 – 10 m), tiefgründigen (10 – 30 m) und sehr tiefgründigen (>30 m) permanenten Rutschungen. Bei mittleren oder tiefgründigen Rutschungen existieren häufig mehrere Gleitflächen, wobei für das Gefährdungsbild häufig die untiefste Gleitfläche relevant ist (BAFU 2016).

Je nach Form der Gleitfläche wird zwischen zwei Formen unterschieden - den *Rotations-* und *Translationsrutschungen*. Während Rotationsrutschungen an ihrer Basis eine mehr oder weniger konkave Gleitfläche aufweisen, verfügen Translationsrutschungen über mehrheitlich ebene oder abgestufte, hangauswärts gerichtete Gleitflächen (z.B. Hungr, 2014). Die meisten grossen Hangbewegungen sind eine Kombination beider Typen.

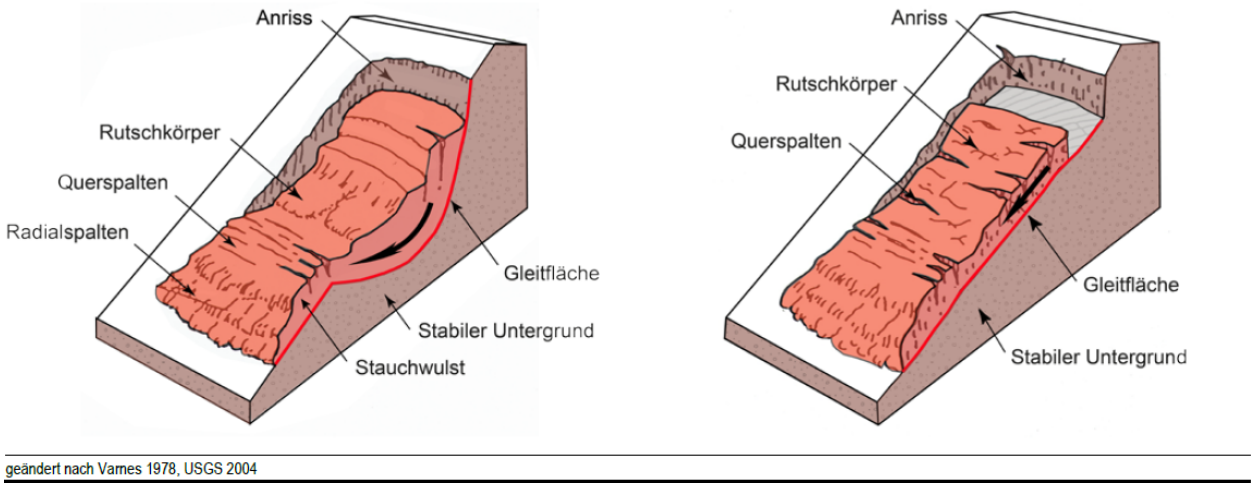


Abbildung 2 Schematische Darstellung der Rotationsrutschung (links) und Translationsrutschung (rechts) (BAFU, 2016).

Die permanenten Rutschungen weisen randlich häufig *Zonen differenzieller Bewegungen* auf und können nebst einer minimalen Variabilität der natürlichen Schwankungen, Phasen der *Beschleunigung* durchlaufen. Bei starken Geschwindigkeitsänderungen, z.B. von Null auf mehrere Meter pro Jahr, spricht man von *Reaktivierung*.

Auslöser für Beschleunigungen bilden oft aussergewöhnliche Witterungsverhältnisse (langanhaltende und/oder starke Niederschläge, Schneeschmelzen), Wasserinput von unten wie z.B. durch Karst, auftauenden Permafrost oder eine Störung des Gleichgewichtes durch Erosion (Entlastung) am Hangfuss.



Abbildung 3 Durch Gerinneerosion reaktivierte, permanente Rutschung ob Guttannen mit gut sichtbarem Abrissrand (helle Linie) infolge starker Reaktivierung sowie spontanen Rutschprozessen in der Front (roter Pfeil) (Foto: Jasmin Hehli).

Gleitflächen bilden sich häufig in verwitterten, tonreichen, plastischen Lockergesteinsschichten, im Festgestein oder entlang Störungszonen. Das darauf abgleitende Material kann durchaus aus festen Gesteinen oder durchlässigem Lockermaterial bestehen. Permanente Rutschungen sind je nach Eigenschaften der Gleitfläche und vorhandenem Wasserdruck auch in wenig geneigtem Gelände unterhalb von 15° Hangneigung möglich (Sidle und Ochiai, 2006).

2.2.2 Sackungen

Sackungen sind eine Spezialform der Rutschungen. Sie betreffen vorwiegend Festgestein resp. grössere, zusammenhängende Gesteinskomplexe und sind durch eine ausgeprägte vertikale Bewegungskomponente charakterisiert. In der Gefahrenbeurteilung werden sie aufgrund der ähnlichen Wirkungsweise wie grosse, tiefgründige, permanente Rutschungen behandelt und erhalten daher hier keine separate Auflistung.

2.2.3 Hangkriechen

Über lange Zeiträume anhaltende, langsame Verformungen im Lockergestein oder Fels können zu kriechenden Hangbewegungen führen. Dabei finden bruchlose, kontinuierliche Verformungen und/oder ein diskontinuierliches Kriechen mit Gleitvorgängen auf zahlreichen kleinen Trennflächen statt (Bründl, 2009). Im Gegensatz zu den permanenten Rutschungen sind keine durchgehenden Gleitflächen ausgebildet. Im deutschen Sprachraum werden ausgesprochen grossräumige Phänomene wie Talzuschub (z.B. Grindelwald, Kienholz 1977) als Form tiefgründiger Kriechbewegungen behandelt. In der Gefahrenbeurteilung ist das Hangkriechen bei den permanenten Rutschungen anzusiedeln und wird deshalb im folgenden Skript nicht weiter erläutert.

Im periglazialen Raum zeigen sich mit den Blockgletschern und Solifluktionserscheinungen Spezialfälle von Hangkriechen mit eher oberflächlichem Charakter (Abbildung 2). Bei diesen kriechenden Hangbewegungen kann das Vorhandensein einer durchgehenden Gleitfläche in gewissen Fällen jedoch nicht eindeutig ausgeschlossen werden – so treten z.B. im Fels generell Sprödbrüche auf.

Ebenfalls den Kriechbewegungen zuzuordnen sind *Hakenwurfprozesse*. Diese treten auf, wenn ein gut ausgebildetes Kluftsystem Bewegungen der Gesteinskörper nahe der Oberfläche ermöglicht.



Abbildung 4 Hangkriechen in einem steilen Talhang im georgischen Mestia mit klassischen Hangkriechphänomenen (wellenartige Strukturen). Die Verlagerung der Masse erfolgt über Internverformung unter hohem Energieverbrauch, da die innere Reibung voll wirksam ist (Foto: Daniel Tobler).

2.3 Spontane Rutschungen und Hangmuren

Spontane Rutschungen beinhalten kleine meist flachgründige (<1‘000 m^3) und grössere (>1‘000 m^3) Ereignisse und sind den Gleitprozessen zugeordnet. Die Hangmuren gehören zu den Fliessprozessen. Nach Hungr (2003) liegt die Ursache einer spontanen Rutschung in der plötzlichen Reduktion der Scherfestigkeit durch Kohäsionsverlust, Reduktion des Reibungswinkels und/oder Zunahme des Porenwasserdruckes.

In der Gefahrenbeurteilung werden kleine spontane Rutschungen aufgrund des Auslösemechanismus und der Wirkungsweise zusammen mit den Hangmuren und die grossen spontanen Rutschungen als Spezialfall behandelt.

2.3.1 Hangmuren und kleine spontane Rutschungen

Hangmuren und spontane Rutschungen treten lokal und in steilen Abhängen (> 20 - 25°) auf, die mit gering durchlässigen, kohäsionsarmen Lockergesteinen bedeckt sind (Abbildung 5). Oft sind nur der „Boden“ und verwittertes Lockergestein oder verwitterter Fels betroffen. Bei sehr hoher (geologischer) Disposition können Hangmuren bereits ab Hangneigungen von 20° auftreten. Die Auslösung erfolgt durch einen erhöhten Wasserinput in den Untergrund wie z.B. durch Starkniederschläge, langandauernde Regenperioden oder intensive Schneeschmelze. Bei bestehender Durchnässung der Böden (Vorfeuchte) können bereits kleine Gewitter Hangmuren und/oder spontane Rutschungen auslösen.

Während die spontane Rutschung lediglich abgleitet, kommt es bei der Hangmure zu einer starken Materialverflüssigung, wobei eine viskose Masse aus Lockermaterial und Wasser schnell abfliesst. Insbesondere der hohe Wasseranteil ist für eine hohe Prozessgeschwindigkeit mit oft zerstörerischer Wirkung verantwortlich. Eine spontane Rutschung kann ggf. auch in eine Hangmure übergehen.

Die Schnittstelle von den Hangmuren (Fliessprozess, Massenbewegung) zu den Murgängen (Fliessprozess, Wasser) wird in der Praxis i.d.R. durch den Abflussort definiert. So sind die Murgangprozesse im Gegensatz zu den Hangmuren an ein Gerinne gekoppelt. Falls eine Hangmure in ein Gerinne gelangt, kann sie dort zur Entwicklung eines Murganges beitragen.

In den folgenden Kapiteln werden die kleinen spontanen Rutschungen unter dem Begriff der Hangmuren abgehandelt.



Abbildung 5 Eine Serie von Hangmuren im Emmental mit geringmächtigem Anriss unmittelbar unter einer Hangkante und starker Verflüssigung. Das Emmental mit untief anstehender Nagelfluh ist prädestiniert für die Bildung von Hangmuren (Foto: Christoph Haemmig).

2.3.2 Grosse spontane Rutschungen

Grosse spontane Rutschungen (Abbildung 6) sind plötzlich und schnell abgleitende Massen mit starker Beschleunigung. Sie ereignen sich häufig als Sekundärprozess von permanenten Rutschungen in übersteilten Hangpartien (z.B. Tripfi) oder in Gletscherrückzugsgebieten infolge Hangentlastung (z.B. Stieregg). Grosse spontane Rutschungen können grosse Volumina von bis zu mehreren hunderttausend Kubikmetern umfassen (AGN, 2004). Dokumentierte Ereignisse im Alpenraum sind z.B. Riemenstalden (10‘000-20‘000 m³), Gryphenbach/Tripfi, 1966 (10‘000-15‘000 m³) oder die Rutschung Stieregg in Grindelwald (650‘000 m^3).



Abbildung 6 Grosse, spontane Rutschung Feldweid – Bild eines spontanen Abgleitens einer grossen Lockergesteinsmasse nach langanhaltenden und intensiven Niederschlägen im Sommer 2005 (Foto: Schweizer Luftwaffe).

3 Disposition

Jeder Hang verfügt über eine eigene Disposition, die ausschlaggebend für dessen Rutschanfälligkeit ist. Der Begriff Disposition bezeichnet dabei die Bereitschaft oder Anfälligkeit eines Gebietes/eines Hanges zur Bildung und Auslösung von Rutschungen im weiteren Sinne. Unterschieden werden Grunddisposition, variable Disposition und auslösendes Ereignis (Trigger). Kienholz (2005) charakterisiert diese wie folgt:

"Die **Grunddisposition** zu gefährlichen Prozessen (der 'Charakter') ist die grundsätzliche, über längere Zeit gleichbleibende Bereitschaft zu gefährlichen Prozessen. Die Grunddisposition wird bestimmt durch über längere Zeiträume konstant bleibende Parameter wie Relief, Geologie, Klima, Vegetation." Zur Grunddisposition werden beispielsweise die grundsätzliche Verfügbarkeit von Lockermaterial (Jungschutt, Altschutt, veränderlichfeste Gesteine) oder z.B. die geotechnischen Bodeneigenschaften (Bodenkennwerte) gezählt.

"Die **variable Disposition** (die 'Laune') ist die bei gegebener Grunddisposition zeitlich variable, in einem bestimmten Umfang schwankende oder sich entwickelnde effektive Disposition zu gefährlichen Prozessen." Zur variablen Disposition gehören die jahreszeitlichen Veränderungen, aber auch die Vorgeschichte (Feuchteverhältnisse) in einem Abhang oder einem Einzugsgebiet.

Das **auslösende Ereignis** stellt die kurzfristige Belastung des Systems durch ein meist hydrologisches Ereignis dar. Es wird unterschieden zwischen kurzen Gewitterniederschlägen, langen Regenperioden oder hohem Wasserandrang durch intensive Schneeschmelze.

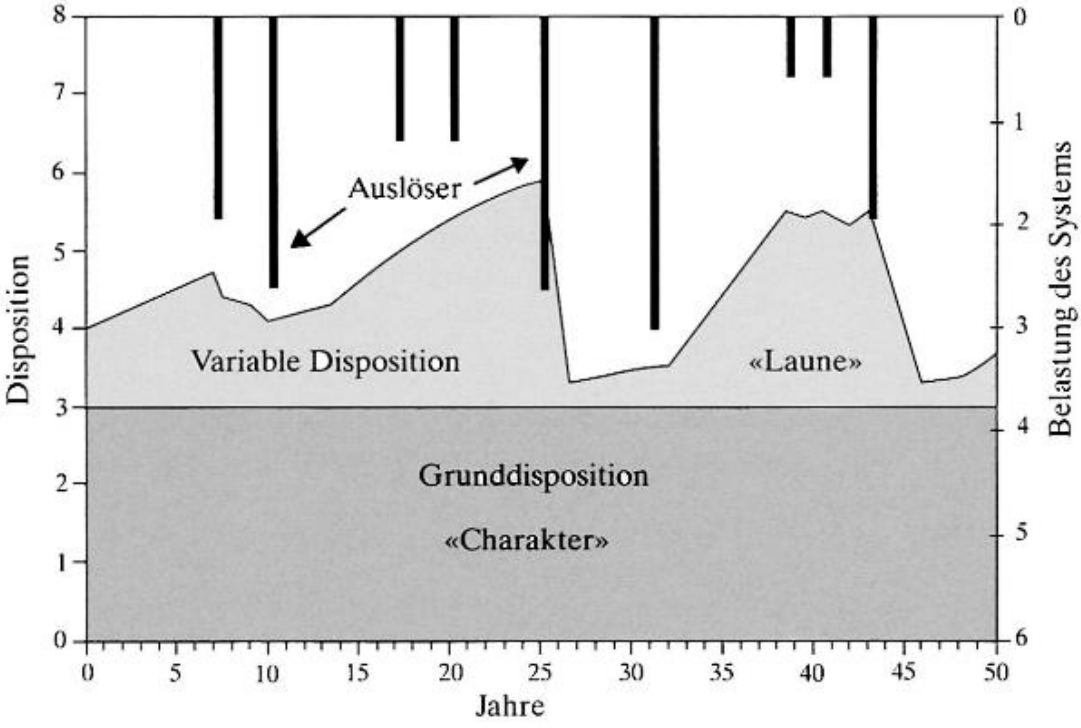


Abbildung 7 Zusammenhang von Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis bei gefährlichen Prozessen (Kienholz, 2005).

4 Methodik Überblick – Grundlegende Arbeitsschritte

4.1 Allgemein

In der Schweiz stützt sich die generelle Gefahrenbeurteilung auf drei Standbeinen ab:

- den historischen Ereignissen, welche im Ereigniskataster zusammengefasst sind (Ereignisanalyse)
- den Geländebeobachtungen mit Kartierungen der prozessspezifischen Spuren im Gelände, welche in der Karte der Phänomene dargestellt werden (Situationsanalyse)
- Berechnungen mit prozessspezifischen Modellen oder empirischen Schätzmethoden (Wirkungsanalyse) und deren Interpretation und Verifikation im Gelände

Basierend auf diesen Standbeinen müssen Aussagen zu Rutschwahrscheinlichkeit (nur spontane Prozesse) und der Rutschintensität gemacht werden. Danach erfolgt die Einstufung in die Gefahrenstufen nach BAFU (2016).

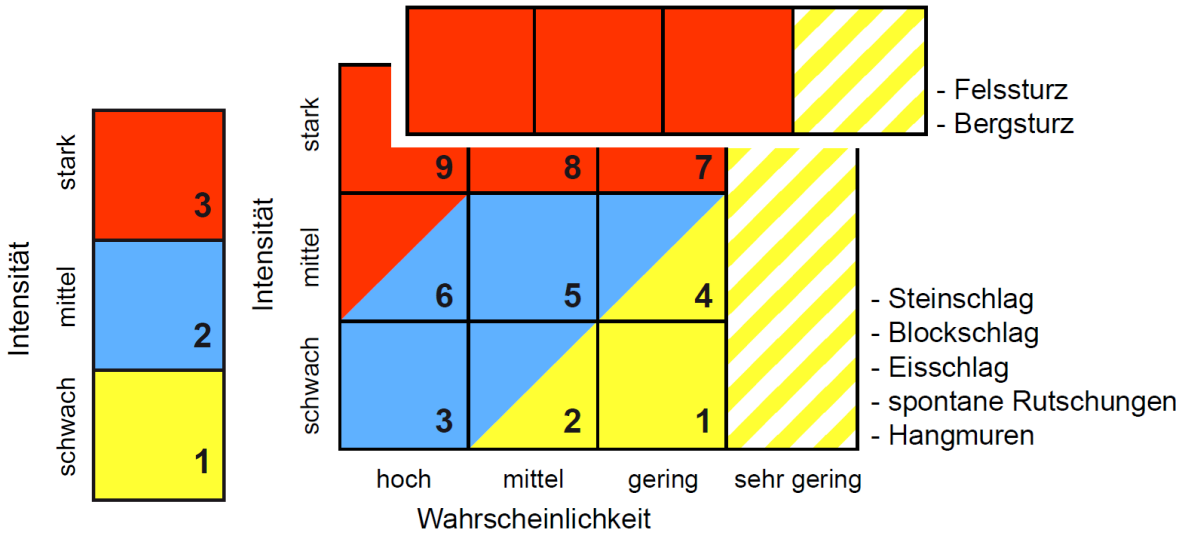


Abbildung 8 Gefahrenstufendiagramm des Bundes (BAFU, 2016) für die Massenbewegungsprozesse: Permanente Rutschungen (links) und Hangmuren/spontane Rutschungen (rechts).

Hinweis zu den geteilten Feldern:

Hangmuren gelten als brutale Prozesse, weshalb bei den geteilten Feldern grundsätzlich die höhere Gefahrenstufe gelten sollte. So wird z.B. für Hangmuren mit mittlerer Wahrscheinlichkeit und mittlerer Intensität (HM5) der Anriss bis und mit Ablagerungsbereich der blauen Gefahrenstufe (HM5) zugeordnet; aus dem Ablagerungsbereich ausfliessendes Geschwemmsel und Schlammwasser der gelben Gefahrenstufe (HM2). Für eine Hangmure mit geringer Wahrscheinlichkeit und mittlerer Intensität (HM4) gilt die blaue Gefahrenstufe bis und mit Ablagerungsbereich; das wegfliessende Schlammwasser hat eine schwache Intensität und wird als gelb (HM1) ausgewiesen.

Grosse spontane Rutschungen sind aufgrund der starken Beschleunigung jeweils der starken Intensität zuzuordnen.

4.2 Vorgehen und Ablauf im Überblick

Im Vorgehen wird unterschieden zwischen Gefahrenerkennung, Gefahrenbeurteilung und Dokumentation.

Die **Gefahrenerkennung** umfasst grob die folgenden Schritte:

- Grundlagenbeschaffung: Gutachten, Kataster, Vermessungsdaten, Geodaten, etc.
- Auswertung und Interpretation Ereigniskataster, Nacherfassung historischer Ereignisse oder neuer (noch) nicht erfasster Ereignisse
- Geländeaufnahmen zur Erfassung der Situation vor Ort sowie der bestehenden Schutzbauten; Nachführen oder Erstellung der Karte der Phänomene
- Erfassung der generellen geologischen Disposition (Grunddisposition), Definition der variablen Dispositionsparameter und der Förderfaktoren sowie Beurteilung der möglichen Auslösefaktoren. Beschreibung des geologischen Modelles (insbesondere bei den permanenten Rutschungen).
- Szenarienbildung: Erfassen von möglichen, zukünftigen Ereignissen und Ereignisabfolgen inkl. Zuweisung von Eintretenswahrscheinlichkeiten[2].

[2] Bei den permanenten Rutschungen umfasst die Szenarienbildung die Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit der Beschleunigung (v_{max}), des Reaktivierungspotenzials und möglicher differentieller Bewegungen.

Die **Gefahrenbeurteilung** besteht im Wesentlichen aus der Wirkungsanalyse. D.h. sie setzt sich zusammen aus der

- Umsetzung der Prozessflächen in Intensitätskarten (basierend auf gutachtlicher Beurteilung im Gelände und Modellierungen) sowie der
- Einstufung des Prozesses in die Gefahrenstufen.

Ein wichtiger Teil stellt die **Dokumentation** dar. So dienen z.B. Faktenblätter pro Prozessquelle (vgl. Anhang 3 – Beispiele für Faktenblätter) der Nachvollziehbarkeit der Beurteilung. Zur Dokumentation gehören auch die Datenerfassung und Datendokumentation im GIS (gem. vorgegebenem Datenmodell des Bundes oder der Kantone). Eine Zusammenstellung der notwendigen Dokumente für das Dossier der Gefahrenkarte ist in der Vollzugshilfe BAFU 2016 zu finden. Die genauen Inhalte sind jeweils durch den Auftraggeber definiert.

In den folgenden Darstellungen (Abbildung 9 und Abbildung 10) sind die wesentlichen Schritte bei der Durchführung der Gefahrenbeurteilung von Rutschungen aufgezeichnet. Je nach Zielsetzung der Beurteilung ist die Methodik resp. sind die Arbeitsschritte anzupassen.

Bei den Hangmuren wird die Wahrscheinlichkeit grundsätzlich über die kritische Hangneigung und die Förderfaktoren definiert. Hier gibt es dann nur ein Szenario mit einer Wahrscheinlichkeit und zwei Intensitäten (eine Intensität für den Bereich Anriss bis und mit Ablagerung (z.B. HM5) und eine Intensität für den distalen Ablagerungsbereich (z.B. HM2)).

4.2.1 Permanente Rutschungen

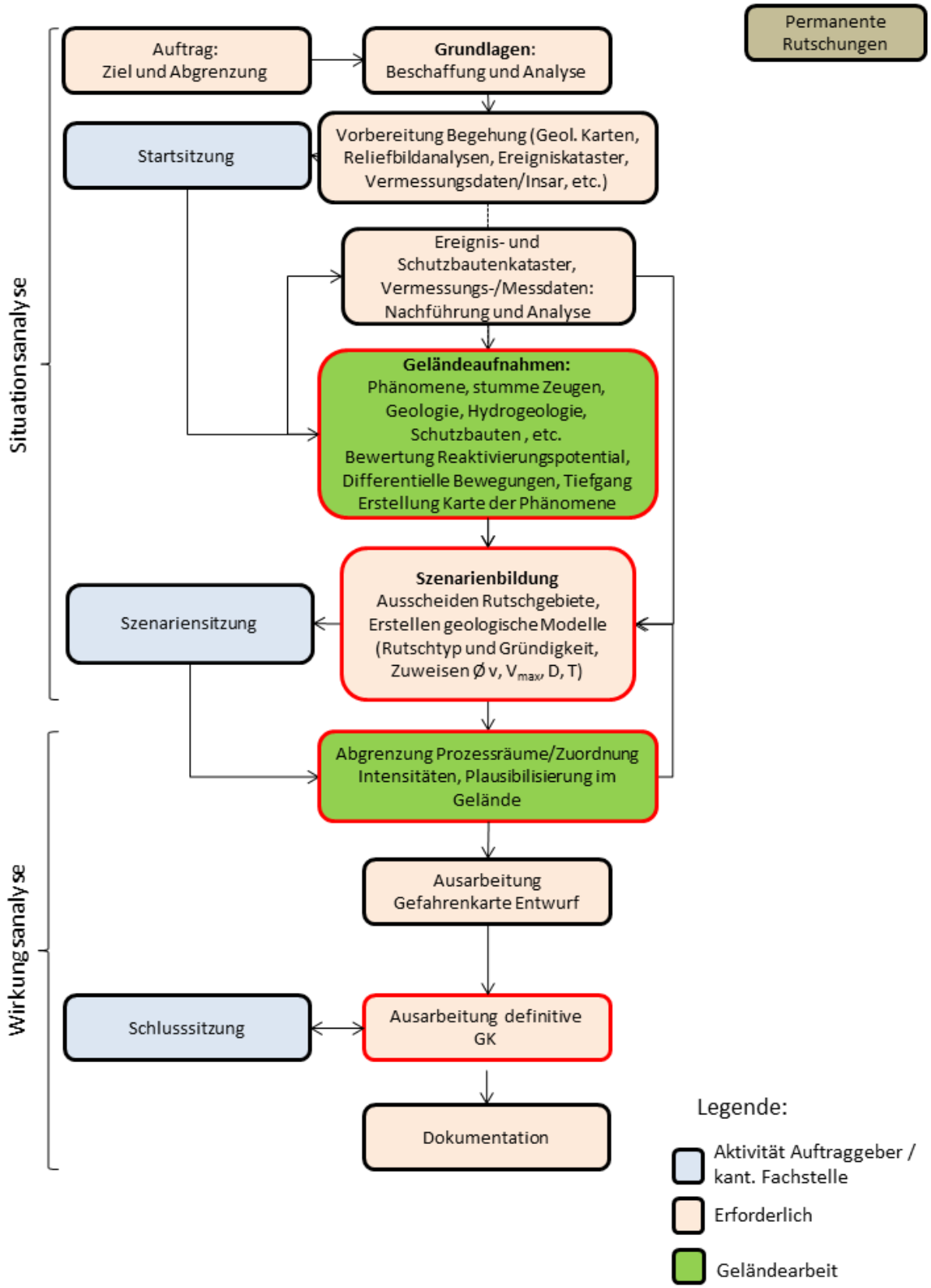


Abbildung 9 Methodik Gefahrenbeurteilung permanente Rutschungen (rot umrandet = Meilensteine).

4.2.2 Spontane Rutschungen / Hangmuren

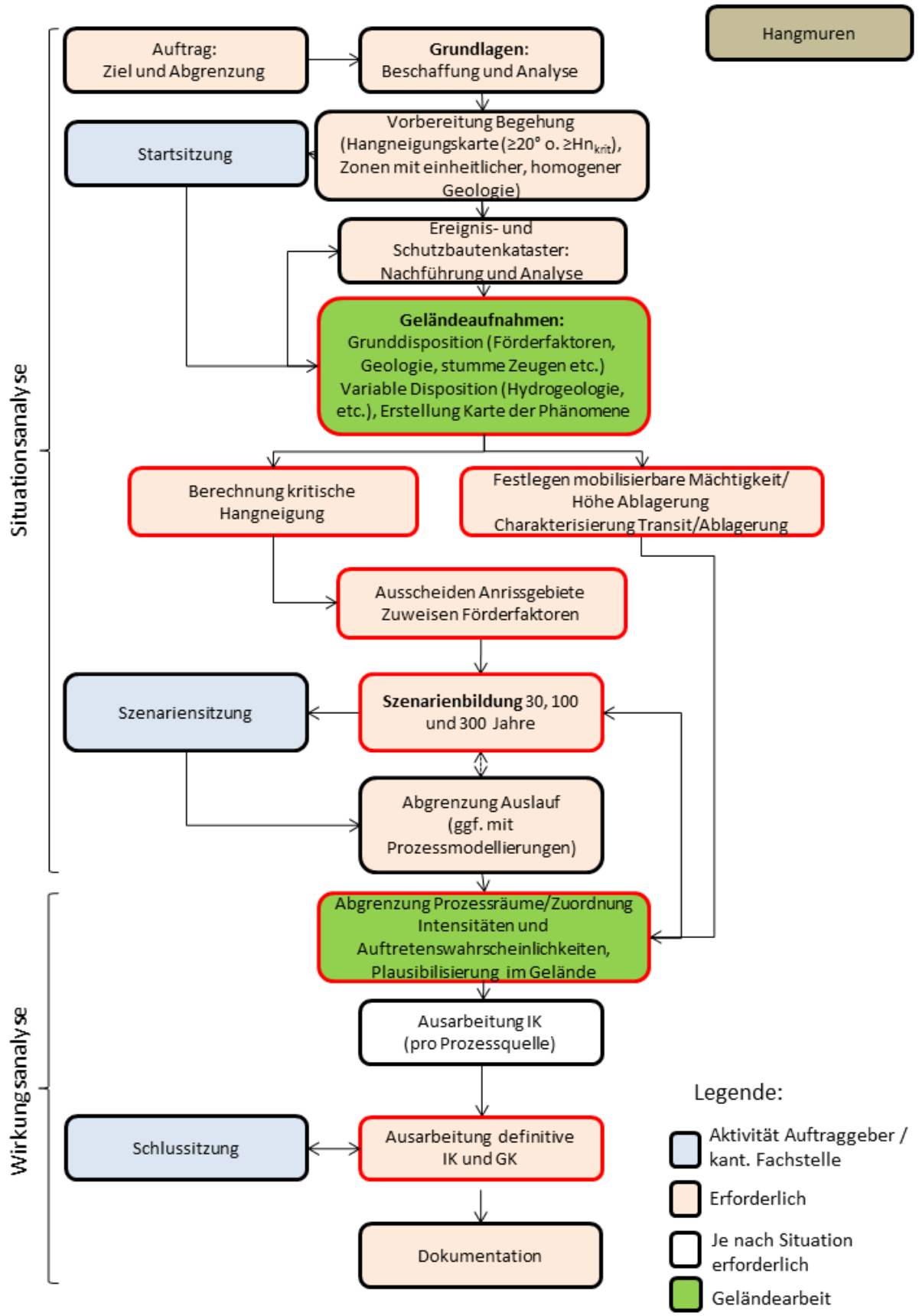


Abbildung 10 Methodik Gefahrenbeurteilung Hangmuren (rot umrandet = Meilensteine).

5 Vorgehen und Ablauf im Detail („Best Practice“)

5.1 Auftrag

Dem Bearbeitenden müssen Inhalt und Ziel des Auftrages und die zu bearbeitenden Punkte klar sein. Weil die Resultate von Gefahrenbeurteilungen oft in Gefahrenkarten einfliessen oder bei Baubewilligungsverfahren eine Rolle spielen, ist die Information bzw. der Einbezug der zuständigen kantonalen Fachstelle von Bedeutung.

- Was ist der Hintergrund des Auftrages (z.B. erstmalige Gefahrenbeurteilung eines einzelnen Hanges oder Beurteilung eines grösseren Gebietes, Aktualisierung oder Verifizierung einer bestehenden Gefahrenbeurteilung, Zweitmeinung zu einer bestehenden Beurteilung, Beurteilung eines speziellen Ereignisses)?
- Mit dem Auftraggeber ist der Gefahrenkarten- und/oder ggf. der Beurteilungsperimeter festzulegen. Bei der Bearbeitung ist zwingend darauf zu achten, dass sämtliche in den Gefahrenkartenperimeter reichende Prozessquellen beurteilt werden.
- Welche Prozesse oder Prozessverkettungen sind zu beurteilen?
- Welche Resultate werden erwartet, in welchem Umfang und bis wann?
- Einstufung des Schwierigkeitsgrades. Bei sehr komplexen Fragestellungen sind allenfalls weitere Experten (frühzeitig) hinzuzuziehen. Spielen weitere Prozesse eine relevante Rolle, sind weitere Prozessspezialisten beizuziehen?
- Welcher Detaillierungsgrad (M1, M2 oder M3) in der Bearbeitung ist notwendig, um die Aufgabenstellung des Auftrages erfüllen zu können?

Zeigt sich während der Auftragsbearbeitung, dass Anpassungen am ursprünglichen Auftrag notwendig sind, sind diese frühzeitig mit dem Auftraggeber zu klären.

5.2 Grundlagen

Die für die Gefahrenbeurteilung relevanten Grundlagen müssen verfügbar sein und sind vom Auftragnehmer zu beschaffen und auf deren Aktualität zu prüfen.

- **Geodaten** beschaffen (DGM (z.B. swissalti3d), DOM, Basisplan, Luftbilder/Orthofoto, Gewässernetz, Waldbestand, Ereigniskataster, Schutzbautenkataster, Gefahrenkarten, bestehende Gefahrenbeurteilungen, Gefahrenhinweiskarte, Karte der Phänomene, geologische Karten, Oberflächenabflusskarte, Vermessungsdaten, INSAR Daten, Satellitendaten).
- **Messdaten** (sofern vorhanden) können bei kantonalen und eidgenössischen Behörden sowie Geometer bezogen werden.
- **Digitales Geländemodell**:
    - Datenqualität prüfen: Repräsentiert das Terrainmodell noch das aktuelle Terrain? Ein Geländemodell kann Fehler bei Stützpunkten, Bruchkanten, Geländerücken oder Geländeterrassen beinhalten. Bei einer Modellierung kann dies zu Fehlern führen. Eine visuelle Überprüfung kann anhand von Höhenkurven oder der Reliefschattierung erfolgen.
    - Genügende Auflösung des Geländemodells: In der Regel ist eine Auflösung von 2 - 5 m Rasterauflösung genügend (z.B. SwissAlti3D). Wird das Geländemodell für Simulationen verwendet, ist die in der Modellbeschreibung geforderte Auflösung anzustreben.
    - Aktualität: Erstellungsdatum des Geländemodells prüfen

  - Abdeckung des gesamten Projektgebietes. Einzugsgebiete und Wirkungsgebiete müssen vollständig abgedeckt sein.
  - Geländeveränderungen: Erdverschiebungen, Gletscherrückgang oder erstellte Schutzmassnahmen wie Dämme können Simulationen massgeblich beeinflussen. Zusammen mit dem Auftraggeber oder Lokalkennern sind allfällige Veränderungen abzuklären.
- **Aktuelle, topographische Grundlagenkarte** (UP5, Landeskarte usw.) für Aufzeichnungen im Gelände und für die Darstellung als Karten im Endprodukt.
- **Vollständigkeit und Qualität** der verfügbaren Unterlagen prüfen (z.B. Literaturangaben von Berichten durchsehen).
- **Technische Berichte und Projektunterlagen** beschaffen. Berichte zu vorhandenen Gefahrenabklärungen sind zu beschaffen und zu analysieren. Es ist zu prüfen, ob sie noch gültig sind respektive welche Veränderungen in der Zwischenzeit aufgetreten sind (z.B. neue Schutzbauten, neue Gebäude, Terrainveränderungen). Auch neue Erkenntnisse (z.B. grössere Reichweiten aufgrund veränderter Disposition, Methoden) oder neue Berechnungsmodelle und -ansätze können eine Neubeurteilung notwendig machen. Bei den Projektunterlagen interessieren vor allem Angaben zu früheren Ereignissen, kritischen Hangneigungen, Art und Mächtigkeit der Deckschichten, Hydrogeologie sowie wenn möglich Bodenkennwerte (u.a. Plastizitätswerte) (Wyss et al., 2018).
- **Dokumentationen** zu Baugrunduntersuchungen / Baggerschlitzen / Sondierbohrungen.

5.3 Ereigniskataster

Der Ereigniskataster bildet eine wichtige Grundlage bei einer Gefahrenbeurteilung. Informationen zu Ausdehnung, Auswirkung und Häufigkeit von Ereignissen, liefern wertvolle Hinweise bei der Ausscheidung von Gefahrengebieten sowie bei der Einordnung der Aktivität und der Einwirkungen. Die sorgfältige Analyse eines gut dokumentierten Rutschereignisses kann viel zum Verstehen der Rutschprozesse beitragen.

Im Rahmen der Gefahrenkartenerstellung wird der Ereigniskataster konsultiert, bewertet und wenn unvollständig ergänzt.

- Analyse der dokumentierten **Rutschungen**:
  - welche Prozesse sind aufgetreten (Typ der Rutschung),
  - wo liegt das Anrissgebiet (Hangneigung, Geologie, Morphologie),
  - wie gross war das Ereignis (Abmessungen in Länge, Breite, Gründigkeit),
  - wie gross waren die Reichweiten (speziell für Hangmuren) – dies gibt Hinweise auf Wassergehalt der mobilisierten Masse und/oder die Untergrundbeschaffenheit,
  - wie waren die Witterungsverhältnisse lange und kurz vor dem Ereignis
  - sind Förderfaktoren aufgeführt oder können aus den Angaben Förderfaktoren abgeleitet werden (Hangmuren / kleine spontane Rutschungen)
- Analyse der dokumentierten **Schäden** bei Ereignissen. Dies gibt Hinweise auf die Grösse und Intensität einer Rutschung.
- Kritische Einschätzung der **Plausibilität** von Aufzeichnungen.
- Auswertung der **Ereignishäufigkeit**: der Ereigniskataster gibt Hinweise über die Häufigkeit von Ereignissen in einem Gebiet und die Verteilung (v.a. Hangmuren).)

- Prüfung der **Vollständigkeit** des Ereigniskatasters: Wenn weitere Ereignisse bekannt sind, soll der Kataster nachgeführt werden.
- Vergleich verschiedener **Luftbild- und Kartenstände.**
- Konsultation von (Bild-) **Archiven** (vgl. Linkverzeichnis).

5.4 Schutzbautenkataster resp. Berücksichtigung bestehender Schutzbauten

Schutzmassnahmen, welche eine Wirkung auf den Prozessablauf haben, sind bezüglich Zustand und Wirksamkeit gemäss den Vorgaben von PROTECT (Romang, 2008) zu erfassen und zu prüfen.

Im Rahmen der Gefahrenkartenerstellung ist der Schutzbautenkataster zu konsultieren, zu bewerten und ggf. zu ergänzen.

Schutzmassnahmen gegen Hangmuren und spontane Rutschungen sind im Schutzbautenkataster kaum zu finden. Dies hat damit zu tun, dass bei diesen Prozessen normalerweise Objektschutzmassnahmen an Gebäuden vorgenommen werden (z.B. verstärkte Rückwände, Terraingestaltungen, etc.), welche gemäss Datenmodell im Schutzbautenkataster nicht erfasst werden. Für permanente Rutschungen hingegen gibt es sehr wohl etliche Massnahmen (Drainagen, Holzkastenverbauungen etc.). Aufgrund der kaum vorhandenen Sichtbarkeit der Massnahmen, wurden sie bis vor kurzem nicht systematisch erfasst.

Sofern Schutzbauten vorhanden sind, gilt es die folgenden Prüfungen vorzunehmen:

- Bestehen **alte und neue Schutzbauten**, welche nicht im Schutzbautenkataster aufgeführt sind? Falls unvollständig, ist der Schutzbautenkataster zu ergänzen.
- Bestimmung der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit nach **PROTECT** (Romang, 2008).
- Im Technischen Bericht, respektive in den Faktenblättern der einzelnen Prozessquellen, ist die Beurteilung der Wirkung von Schutzbauten aufzuführen respektive welche Schutzbauten berücksichtigt wurden, respektive bei welchen Szenarien mit einem allfälligen Versagen gerechnet werden muss und sie deshalb nicht oder nur teilweise berücksichtigt werden (vgl. auch BAFU, 2016).

5.5 Vorbereitung Begehung

Mit einer guten Vorbereitung kann eine Geländebegehung effizient durchgeführt und sichergestellt werden, dass keine wichtigen Punkte vergessen werden.

- Was will resp. muss gesehen werden, um einen guten Eindruck des Hanges zu erhalten? Z.B. relevanter Hangabschnitt (Anriss), Ablagerungsraum, Zonen differentieller Bewegungen, Bereiche mit aufgeschlossener Geologie zur Abschätzung der Lockermaterialmächtigkeit, offene Baugruben, grosse Gebäude mit Annexbauten auf permanenten Rutschungen, Gegenhangansicht usw.
- Studium der **Grundlagen**: Bereits aus den Auswertungen der Grundlagen, insbesondere dem Geländemodell, INSAR Daten, Luftbildern, ggf. bereits vorhandene Karten der Phänomene und des Basisplans kann eine erste Grobbeurteilung der Situation stattfinden. Diese kann dazu verwendet werden, die Begehungsroute so zu planen, dass die relevanten Stellen gezielt begangen werden können.
- **Messdaten** für permanente Rutschungen (sofern vorhanden) können bei kantonalen und eidgenössischen Behörden (z.B. INSAR) sowie Geometer bezogen werden.

- Beurteilung des **Geländemodells**: Die Auswertung des Geländemodells liefert viele wertvolle Informationen. So liefert die **Hangneigung** Informationen zu möglichen Anrissgebieten von Hangmuren, in der **Reliefschattierung** sind potenzielle permanente Rutschgebiete, aber auch alte Hangmuren-Anrissnischen und -Ablagerungsspuren erkennbar. Auch Google Earth oder Luftbilder/Orthophotos geben bereits einen guten, ersten Eindruck.
- **Kritische Hangneigung für Hangmuren** basierend auf Anrissgebieten im Ereigniskataster, Analyse Bildmaterial und Geländemodell, der Geologie, bestehenden Auswertungen (z.B. BAFU (2016) Abbildung 10).
- **Grobes geologisches Modell bei permanenten Rutschungen** erstellen (Tiefgang, Aktivität, Reaktivierungspotentiale, usw.) aufgrund Grössenverhältnissen, Reliefbild, Hangwassersituation (Gerinne), bekannten Schutzbauten, Unterlagen (z.B. geologische Karte und Profile).
- **Mögliche Schlüsselstellen** für den Prozessablauf evaluieren, die im Gelände zu begutachten sind (z.B. Gebiete mit differentiellen Bewegungen bei permanenten Rutschungen, mögliche Ablagerungsräume von Hangmuren im Siedlungsraum).
- Planung des **Ablaufs der Begehung**: Begehungsroute festlegen, Kartenmaterial (Basisplan, Höhenkurvenplan, Hangneigungsklassenkarte, Karte mit Reliefschattierung, Karte mit Schutzbauten und Ereigniskarten) bereitstellen. Bewilligung für Fahrwege einholen.
- **Wetterverhältnisse und Zeitpunkt** der Begehung: Bei schlechten Wetterbedingungen kann eine Begehung nutzlos sein, da die Sichtweiten stark reduziert sein können. Bei Begehungen im Sommer ist aufgrund der üppigen Vegetation häufig der Blick auf den Hang eingeschränkt. Optimal sind Begehungen im Frühling und Spätherbst sowie auch bei Sonnenauf- und -untergang, da bei schrägem Licht Formen besser ersichtlich sind.
- **Arbeitssicherheit**: Begehungen werden meist alleine durchgeführt und finden in teilweise exponiertem Gelände statt. Bei jeder Begehung sollte dem Aspekt der eigenen Sicherheit Rechnung getragen werden: Kontaktperson bestimmen und über geplante Route informieren, nach Möglichkeit ÖV für An- und Rückreise wählen, keine unnötigen Risiken eingehen, Mitführen eines Mobiltelefons und/oder eines Ortungsgerätes, Tragen geeigneter Arbeitskleidung und Schuhwerk, usw.
- **Wichtiger Punkt**: Befragung ortskundiger Personen (Förster, Bauamt etc.)

5.6 Durchführung Begehung

Das Ziel von Begehungen ist, eine klare Vorstellung über potenzielle Prozessabläufe, Anrissbereiche, Transitstrecken und Ablagerungsräume, usw. zu erlangen, um so die Rutschproblematik möglichst gut zu verstehen und ganzheitlich zu erfassen. Auf Geländebegehungen kann auf keinen Fall verzichtet werden.

Geländeaufnahmen finden in allen Phasen der Gefahrenbeurteilung statt. Im Rahmen der Situationsanalyse wird der Zustand im Anrissgebiet erfasst. In der Wirkungsanalyse werden die betroffenen Prozessflächen abgegrenzt und anschliessend die Resultate aus der Wirkungsbeurteilung und aus Modellierungen im Gelände verifiziert.

5.6.1 Permanente Rutschungen

Feldarbeit bei permanenten Prozessen ist aufwändig. Gerade bei geringen Rutschbewegungen sind Phänomene im Feld teilweise kaum sichtbar. Daher ist eine sorgfältige Vorbereitung mit Studium der vorhandenen Unterlagen und des Luft- und Reliefbildmaterials von grosser Bedeutung. Im Gelände gilt es, die richtigen Lokalitäten aufzusuchen, die Rutschphänomene zu finden und richtig zu deuten. Die Karte der Phänomene sowie die Fotodokumentation bilden die wichtigsten Produkte der Feldaufnahmen.

- Kartierung der **Phänomene** (vgl. auch BAFU, 2000)

  Die Phänomene im Gelände dienen einerseits der Abgrenzung der Rutschung, andererseits geben sie Hinweise über die Aktivität (**langjährige Durchschnittsgeschwindigkeit**) und den Lebenszeitraum einer Rutschmasse. Die Karte der Phänomene sollte wenn möglich immer und sinnvoll gezeichnet werden. Formen und Farben richten sich nach dem Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene (BWW, BUWAL, 1995).

  - Abgrenzungen / Ausdehnungen: Im Feld werden Rutschbegrenzungen überprüft oder erfasst. Je stärker die Verschiebungen in den Randbereichen der Rutschungen sind, desto einfacher können sie lokalisiert werden. Anhand der Abmessungen und der geologischen Randbedingungen einer Rutschmasse kann auf deren Tiefgang geschlossen werden (geometrische Überlegungen).
  - Phänomene in Siedlungsräumen: Versätze in Strassen, Gehwegen, Freileitungen, Zäune, Stützmauern oder Gebäudemauern, schiefe Gebäudeteile, Risse, Absetzungen zwischen Hauptgebäude und Annexbauten, Absenkungen von Vor- / Garageplätzen (Achtung: Setzungen können alleine durch schlechte Verdichtungen des Hinterfüllungsmaterials beim Bau entstehen). Gerade alte Holzgebäude sind oftmals schlechte Rutschzeiger, da sie sehr grosse Bewegungen aufnehmen können.
  - Phänomene im Freiland: Offene parallel zum Hang verlaufende Risse, markante Absenkungen, aufgerissene Vegetation, Stauchwulste, coupiertes Gelände, Vernässungen. Falls Gebäude und Infrastrukturen vorhanden: alle Phänomene wie bei Siedlungsräumen.
  - Phänomene im Wald / bewaldetem Gebiet: alle Phänomene wie im Freiland, generell schiefstehende Bäume (nicht Einzelbaum!), Zugrisse mit gespannten Wurzeln, allenfalls Unterschiede in der Bestockung, usw.

- Bestimmung der Geschwindigkeit, der maximalen Geschwindigkeit resp. des möglichen **Reaktivierungspotentials**

  Liegen Messdaten zu den oben genannten Parametern vor, erfolgt deren Plausibilisierung im Feld in Kombination mit der Karte der Phänomene. Liegen keine Messdaten vor, sind die Parameter gutachterlich unter Berücksichtigung möglicher Entwicklungen von Niederschlägen, Schneeschmelzen, unterirdischen Wasserzutritten, Erosionsprozessen sowie Klimaänderung festzulegen. Weiter können vorhandene Daten (z.B. Ereigniskataster), Analysen des Höhenmodells, den Wasserfliesswegen, der Morphologie und Hydrogeologie des Einzugsgebiets, Gerinnelagen am Rutschfuss sowie kartierte Rutschphänomene beigezogen werden. Für die gutachterliche Festlegung der Geschwindigkeitsparameter braucht es somit eine detaillierte Geländebeurteilung, ein daraus abgeleitetes geologisches Modell und immer Erläuterungen und Begründungen.

  Reaktivierungen treten im Wesentlichen bei erhöhter Wasserzufuhr oder beim Vorliegen starker Gerinneerosion am Rutschfuss auf. Rutschungen mit grossem hydrologischem und/oder hydrogeologischem Einzugsgebiet, mit generell starker Vernässung und allenfalls punktuellen Wasserinputs aus dem unterliegenden Fels (Tendenz) weisen ein erhöhtes Potenzial für Reaktivierung auf.

- Bestimmung von möglichen **Differentialbewegungen**

  Differentialbewegungen treten in den Randbereichen von Rutschmassen auf, d.h. in Bereichen mit Geschwindigkeitskontrasten (z.B. Schollengrenzen, Ausbeissen von Gleitflächen, etc.). Differentialbewegungen können auch zwischen unterschiedlichen Rutschkammern innerhalb einer Rutschung und in Zonen von Extension/Kompression (Zerrspalten/Stauchwülste) auftreten. Je stärker die Phänomene, desto grösser die Differentialbewegungen.

  Gemäss BAFU (2016) wird die Differentialbewegung gemessen an der absoluten differenziellen Verschiebung in Zentimetern bezogen auf eine einheitliche Breite von 10 Metern. Der Differentialwert bezieht sich auf eine Nutzungsdauer des betroffenen

Gebäudes und steht in Beziehung zur Tragsicherheit sowie zur Gebrauchstauglichkeit.

Die Abschätzung von differentiellen Bewegungen im Feld ist schwierig und meistens liegen auch keine genauen Messdaten für die Parameterbestimmung vor. Differentialbewegungen sind daher aufgrund beobachteter Phänomene sowie dem geologischen Modell abzuschätzen.

- Bestimmung des **Tiefgangs**

  Der Tiefgang einer Rutschung ist die Mächtigkeit des Rutschkörpers zwischen der Geländeoberfläche und der untersten Gleitschicht. Die Gesteinsaufschlüsse im Umfeld der Rutschung und geomorphologische Zeichen können Hinweise auf eher flachgründige Rutschungen oder mittel bis tiefgründige Rutschkörper geben, welche mehrere Gleitschichten aufweisen können. Bei mittleren oder tiefgründigen Rutschungen existieren häufig mehrere Gleitflächen, wobei für das Gefährdungsbild häufig die untiefste Gleitfläche relevant ist (BAFU, 2016).

5.6.2 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen

Geländeaufnahmen I: Situationsanalyse (Anrissgebiet)

Die Feldaufnahmen im potentiellen Anrissgebiet dienen der detaillierten Erfassung der Disposition. Grundsätzlich gilt es, die potentiellen Anrissgebiete basierend auf der vorgängig durchgeführten Dispositionsanalyse (krit. Hangneigung, geol. Situation etc.) so genau wie möglich zu erfassen, damit die Intensitäten und Eintretenswahrscheinlichkeiten von Ereignissen bestimmt werden können. Erfasst werden:

  - Die Grunddisposition: Kritische Hangneigung (bestimmt in den Vorbereitungen zur Feldbegehung), physikalische Eigenschaften des Lockergesteins (Feldaufnahme und Vorbereitungsarbeiten) sowie spezifische Förderfaktoren (lokale topographische und hydro(geo)logische Verhältnisse sowie lokale geologische Verhältnisse).
  - Die variable Disposition: Wassergehalt im Untergrund (Vernässungen, Quellen etc.) sowie spezifische Förderfaktoren (anthropogene Einflüsse, Oberflächenbeschaffenheit).

- Analyse der möglichen **Anrissgebiete**
  - Bestimmung der **Lockermaterialmächtigkeit und der -zusammensetzung**. Je nach Detaillierungsgrad ist es zielführend oder gar unerlässlich eine Materialklassifizierung und Mächtigkeitsangaben mit einfachen Handsondierungen oder einer Bohrstockbeprobung vorzunehmen (Boll-Bilgot und Parriaux (2018), Wyss et al. (2018), Riner (2009)). Dies führt zu einer Verbesserung der Aussagen über den geologischen Untergrund und damit einer differenzierten und besseren Analyse der Grunddisposition von Hangmuren. Wenn Felsaufschlüsse in der Umgebung vorkommen, sind die Festgesteinseigenschaften (Gestein, Einfallen, Festigkeit, etc.) ebenfalls aufzunehmen und zu beurteilen.
  - Aufnahme von stummen Zeugen
  - Überprüfung der im Büro bestimmten **kritischen Hangneigung**
  - Bestimmung und qualitative Gewichtung der möglichen Förderfaktoren (siehe unten)

- Bestimmung der Förderfaktoren
    - Geländeformen: Steile Geländerinnen oder starke Geländeknicke (d.h. Übergänge von flachem zu steilem Gelände).
    - Hydrogeologische Aspekte: Vernässungen (Nässezeiger), Quellaustritte, Oberflächenabfluss, Drainagewirkung des Untergrundes, Karstwasseraustritte, Hangwasser-/Bergwasseraustritte.
    - Existenz von (oberflächennahen) Durchlässigkeitskontrasten: dazu gehören v.a. untief anstehende Felsoberflächen oder Abfolge von durchlässigem und wasserstauendem Fels.
    - Oberflächenbeschaffenheit: Wald oder Freiland, Trittschäden oder Viehgangeln, offene Erosionsflächen, in welchen Oberflächenwasser ungehindert eintreten kann.
    - Lage in permanentem Rutschgebiet: Änderung Hangneigungs- und Wasserzirkulationsverhältnisse.
    - Anthropogene Einflüsse: V.a. künstliche Wasserzufuhr aus Strassenentwässerungen, Brunnen oder Drainagen, Aufschüttungen.

Geländeaufnahmen II: Wirkungsanalyse (Transit und Ablagerungsgebiet)

Im **Wirkungsgebiet** (v.a. Ablagerungsraum) werden basierend auf den Szenarien die möglichen betroffenen Prozessflächen bestimmt. Die Bestimmung erfolgt gutachtlich im Gelände. Karten mit einer detaillierten Darstellung der Terrainverhältnisse (Reliefschattierung, Höhenkurven) bilden eine gute Grundlage.

- Erfassung Verhältnisse im **Transitgebiet**
    - Vegetationsverhältnisse: Wald, Wiese, Ackerland, etc.
    - Die Topographie und Neigungsverhältnisse haben direkten Einfluss auf Fliessrichtung, Geschwindigkeit und Reichweite von Hangmuren (steil, coupiert, rinnenartige Strukturen etc.).
    - Hindernisse und eine hohe Oberflächenrauigkeit beeinflussen bei flüssigen Hangmuren das Fliessverhalten von Hangmuren: Umgebungsgestaltung im Siedlungsraum, Zäune; und Absätze führen zu einer tendenziellen Entwässerung einer Hangmure. Strassen können entweder entwässernd wirken oder aber auch zu einem idealen Kanal für Hangmuren werden.

- Erfassung Verhältnisse im **Ablagerungsraum**
    - Geländeform: starke Geländeknicke (geringere Reichweite), langsam auslaufender Hang (grössere Reichweite).
    - Hindernisse: reduzieren Reichweite, Aufstau hinter Objekten möglich.
    - Abschätzen der Reichweite mittels Vergleichs mit benachbarten Ereignissen, Vergleich mit Modellierungen, etc.

Geländeaufnahmen III: Überprüfung der Resultate

- Die Resultate der Gefahrenbeurteilung sind immer im Gelände zu verifizieren. Insbesondere wenn die Beurteilung mit Modellierungen ergänzt wird.

Arbeitstechniken bei Geländeaufnahmen

- Folgende **Arbeitstechniken** bewähren sich bei der Arbeit im Gelände:
    - Fotodokumentation erstellen: Besser zu viele Fotos aufnehmen als zu wenige. Mit GPS-Trackern können Fotos auf einfache Art verortet werden.
    - Die Erkenntnisse aus der Begehung in schriftlicher Form (Karte der Phänomene (= Minimalanforderung), Feldnotizen oder Zusammenfassung) erfassen.
    - Nach der Feldaufnahme: Backups Feldpläne, Notizen und Fotodokumentation erstellen.

5.6.3 Grosse spontane Rutschungen

Grosse spontane Rutschungen werden nur dort ausgeschieden, wo bereits Phänomene, resp. alte Ereignisse vorhanden sind. Die Abgrenzung des Anrissgebietes ist enorm schwierig, wenn nicht bereits Risse und Absenkungen vorhanden sind. Es gibt weder für den Anrissbereich noch für den Auslauf resp. die Reichweite geeignete Abschätzformeln oder Richtwerte.

5.7 Szenarienbildung

Bei den permanenten Rutschungen umfasst die Szenarienbildung die Auswertung oder Abschätzung der durchschnittlichen Rutschgeschwindigkeit (v), des Reaktivierungs- oder Beschleunigungspotentials (v_{max}), der Differentialbewegungen, sowie des Tiefgangs der Rutschung. Die Beurteilung erfolgt nach BAFU (2016) (vgl. auch Anhang).

Bei den Hangmuren umfasst die Szenarienbildung die Beurteilung der Intensitäts- (Anriss- oder Ablagerungsmächtigkeit) sowie Wahrscheinlichkeitskriterien (kritische Hangneigung und Förderfaktoren). Die Beurteilung erfolgt nach BAFU 2016. Die Bewertung der Förderfaktoren und kritischen Hangneigung kann nach BAFU (2016) oder nach AGN (2004) erfolgen (vgl. auch Anhang).

Generell wird festgelegt, welche zukünftigen Rutschereignisse in welcher Grössenordnung und Wahrscheinlichkeit auftreten können. Die Szenarienbildung ist eine wesentliche Grundlage für die Gefahrenbeurteilung und die allfällige Durchführung von Simulationen.

5.7.1 Allgemein

„Szenarien stehen stellvertretend für mögliche, zukünftige Ereignisse und Ereignisabfolgen. Während eines Ereignisses sind ganz unterschiedliche Abläufe vorstellbar, die sich sprunghaft verstärken, überraschend verändern oder anders als erwartet entwickeln. Wegen dieser grossen Vielfalt und Komplexität der Prozessabläufe muss bei der Gefahrenbeurteilung mit Szenarien gearbeitet werden. Jedem Szenario wird eine Eintretenswahrscheinlichkeit zugeordnet." aus BAFU (2016).

Im Rahmen der Szenarienbildung soll die Bandbreite der möglichen Ereignisse abgeschätzt und dargelegt werden (z.B. Wo kann ein Ereignis auftreten? Welche Volumina sind möglich?). Allfällige Unsicherheiten sollen transparent kommuniziert und offengelegt werden.

5.7.2 Permanente Rutschungen

Mögliche Rutschszenarien werden durch folgende Attribute charakterisiert, wobei einige der Attribute in der Gefahrenbeurteilung für die **Zuordnung der Intensität** verwendet werden (vgl. auch Kapitel 5.9.1):

- Beschreibung des **geologischen Modells** und des **Rutschmechanismus** (Rotationsrutschung / Translationsrutschung)
- Bestimmung der langjährigen **Durchschnittsgeschwindigkeit** (v). Hier gelten folgende Abstufungen: < 2 cm/Jahr / 2 – 10 cm/Jahr / > 10 cm/Jahr

- Bestimmung der **maximalen Geschwindigkeit (v_{max})** resp. des **Reaktivierungspotentials**
    - Sind Beschleunigungen möglich, wird die Intensität der Rutschung um eine oder zwei Klassen erhöht (vgl. Kriterien zur Bestimmung der Intensität im Anhang).
    - Bei starken Beschleunigungen von Null auf mehrere Meter pro Jahr spricht man von „Reaktivierung“.
- Verlauf und Lage/Gründigkeit der **Gleitfläche**: Die Gründigkeit der Rutschung hat einen direkten Einfluss auf die Disposition auf Reaktivierungen und Differentialbewegungen. Dabei ist nicht die tiefste Gleitfläche ausschlaggebend, sondern die oberste Gleitfläche eines Rutschkörpers.
    - Je flachgründiger die Rutschung, umso stärker und rascher reagiert sie auf Veränderungen.
    - Bei mittel- und tiefgründigen Rutschungen liegen häufig mehrere Gleitflächen vor; Bei flachgründigen Rutschungen i.d.R. nur eine.
    - Bei sehr tiefen Gleitflächen (>30m) ist die Gründigkeit auch ein Kriterium für eine Rückstufung der Intensität sofern folgende drei Kriterien gleichzeitig erfüllt sind:
        - Grössere, sehr tiefgründige, zusammenhängende Rutschmasse.
        - Phänomenologisch homogene Bereiche ohne höher liegende Sekundärgleitflächen.
        - Mit geodätischen Messungen belegte, zeitlich gleichförmige Bewegungsdynamik.
- Ausscheiden und charakterisieren von Bereichen mit **differentiellen Bewegungen**
    - Differentielle Bewegungen treten in Bereichen mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten oder Bewegungsrichtungen auf. Also sowohl innerhalb einer Rutschung als auch am Rand einer Rutschung, am Übergang zum festen Untergrund.
    - Sie können sowohl lateral als auch vertikal auftreten.
    - Bei Rutschungen sind bei coupierter Gleitflächenstruktur Bereiche mit Extension (Zerrspalten) und Kompression (Stauchwülste) zu beachten.
- Auslösung von **Sekundärprozessen** infolge kurzzeitiger Beschleunigungen (z.B. spontane Rutschung aus der übersteilten Rutschfront).

Bei den permanenten Rutschungen beträgt die **Wahrscheinlichkeit des Eintretens 100%**, da es sich trotz minimaler Variabilität um einen andauernden Prozess handelt. Einzig Beschleunigungsszenarien (v_{max} als auch die Auslösung von spontanen Sekundärprozessen) müssen Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden.

5.7.3 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen

Bei der Szenarienbildung von Hangmuren erfolgt die Beurteilung der Eintretens-wahrscheinlichkeit und Intensität parallel (vgl. Abbildung 11).

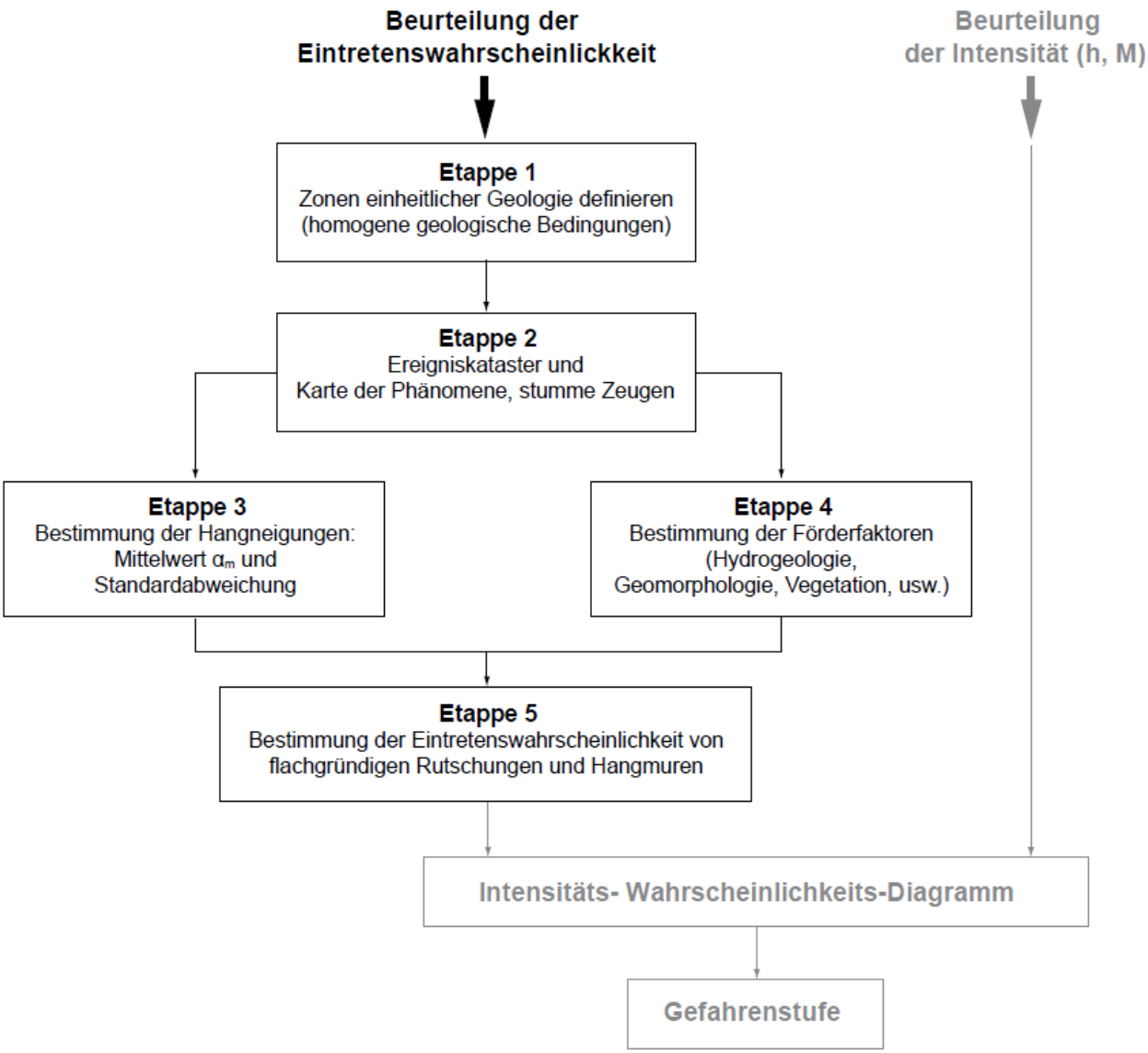


Abbildung 11 Etappen des Vorgehens zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit von Hangmuren (BAFU, 2016).

Die **Eintretenswahrscheinlichkeit** von Hangmuren wird durch folgende Aspekte definiert (vgl. auch Flussdiagramme nach BAFU (2016) und AGN (2004) im Anhang):

- Geologische Disposition, Bereiche mit gleicher **Grunddisposition**
- Ereignissen und **stumme Zeugen**
- **kritische Hangneigung**
- **Förderfaktoren:** Art und Gewichtung des Einflusses der Förderfaktoren (gross, mittel, klein)

Die **Intensität** wird basierend auf den folgenden beiden Kriterien bewertet:

- **Anrissmächtigkeit (M):** Bestimmung der mobilisierbaren Mächtigkeit
- **Ablagerungshöhe (h):** Abschätzung der Stauhöhe an Hindernissen wie Gebäude usw.

Für die **Bestimmung der Reichweite** werden die nachfolgenden Kriterien verwendet. Idealerweise kann auf gut dokumentierte Ereignisse zurückgegriffen werden.

- **Auslösemechanismus**: Sättigungsbedingte Destabilisierung führt eher zu einer starken Verflüssigung; Überdruckbedingte Destabilisierung eher zur Schollenbildung. Schollenbildung begünstigt grosse Reichweiten von grossen Kubaturen.
- Überlegungen zum **Verflüssigungspotential** der Hangmure aufgrund der Materialbeschaffenheit, mobilisierter Kubatur, Topographie, etc.
- Beschaffenheit **Transitbereich**: Oberflächenrauhigkeit, Morphologie und Vegetation

5.7.4 Grosse spontane Rutschungen

Grosse spontane Rutschungen werden generell als seltene Ereignisse mit starken Intensitäten klassiert. Es müssen eindeutige Phänomene, resp. alte Ereignisse existieren, damit dieser Prozess ausgeschieden wird.

5.8 Berechnungen und Simulationen

Das Ziel von Berechnungen und Simulationen ist die Bestimmung verschiedener Prozessgrössen (z.B. Fliesshöhen, Fliessgeschwindigkeiten, Reichweiten etc. bei Hangmuren). Sie unterstützen die Geländearbeit mit quantitativen Angaben. Ergeben sich zwischen Geländeaufnahmen und Berechnungen/Simulationen Differenzen, sind Annahmen und Resultate nochmals zu überprüfen.

Berechnungen und Simulationen sind auf Stufe M2 noch nicht Standard. Sie werden in der Massnahmenplanung verwendet, wenn es um die Bestimmung von Ablagerungshöhen und Druckeinwirkungen geht (Bearbeitungsstufe M3). Berechnungsansätze und mögliche Simulationen werden deshalb hier nur kurz erläutert.

5.8.1 Permanente Rutschungen

Simulationen sind bei permanenten Rutschungen aufwändig und dementsprechend verhältnismässig teuer. Daher werden Simulationen in der Gefahrenbeurteilung (Stufe M1 und M2) bei permanenten Rutschungen höchst selten durchgeführt.

5.8.2 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen

Simulationen sind bei Hangmuren auf Stufe M2 noch nicht Standard. Simulationswerkzeuge werden zurzeit entwickelt und sollten der Praxis in den kommenden Jahren zur Verfügung gestellt werden. Für die Gefahrenkartierung erfolgt die Gefahrenbeurteilung nach der schon erwähnten Methodik BAFU/AGN. Die Modellierung des Prozesses Hangmure kommt vor allem bei der Erstellung von Gefahrenhinweiskarten (M1) und bei der Dimensionierung von Schutzmassnahmen (M3) zum Zug. Bei letzterem werden die Druckeinwirkung und die Aufstauhöhe ermittelt.

Anrissmodellierungen

Auf dem Markt gibt es zahlreiche einfache GIS-Ansätze auf der Basis von „Infinite-Slope-Analysen“, welche pro Geländezelle den Sicherheitsfaktor berechnen. Über statistische Auswertungen werden anschliessend potentielle Anrissbereiche ausgewiesen. Es handelt sich dabei um Dispositionsmodelle, welche primär für grossflächige Gebiete angewendet werden. Die Resultate sind jedoch als Gefahrenhinweis (M1) zu verstehen und erfordern eine kritische Interpretation.

Zurzeit werden Programme entwickelt (z.B. Step-TRAMM, SlideForce), welche versuchen die physikalischen Komponenten und die mechanische Interaktion zwischen den Geländezellen besser abzubilden.

Detailliertere Hangstabilitätsberechnungen mit gängigen "geotechnischen" Programmen wie Larix, etc. werden in der Gefahrenkartenerstellung kaum eingesetzt, da sie nur für sehr spezifische Fragestellungen geeignet sind und höhere Anforderungen an die Inputdaten stellen. Für Detailfragestellungen, Sensitivitätsanalysen einzelner Hänge etc. sind solche Programme durchaus hilfreich.

Auslaufmodellierungen

Für die Berechnung der Auslaufbereiche werden meist GIS-Ansätze ohne fundierte physikalische Basis verwendet. Auch in diesem Bereich sind Entwicklungen im Gange. Diese relativ einfachen Ansätze haben den Vorteil, dass sie topographische Aspekte gut berücksichtigen und über grosse Gebiete anwendbar sind. Ohne situative Beurteilung der Outputdaten im Gelände sind die Resultate als Gefahrenhinweis (M1) zu verwenden und erfordern eine kritische Interpretation.

Für die Detailbetrachtung (M3) kommen nur wenige Programme wie z.B. RAMMS::Hillslope zum Einsatz. Damit können nebst der Ausbreitung auch die Fliessgeschwindigkeiten, Druckeinwirkungen und Ablagerungshöhen flächig berechnet werden.

Für die Bestimmung der Fliessgeschwindigkeit und Druckeinwirkung entlang von 1D-Profilen kann auf Ansätze der Murgang- resp. Lawinenmodellierung zurückgegriffen werden. So basieren die Berechnungen der Fliessgeschwindigkeit auf dem Voellmy-Salm-Modell. Für die Druckeinwirkungen werden hydrodynamische Ansätze verwendet (z.B. nach AGN (2004), VKF (2005), etc.).

Sämtliche Simulationsprogramme sind als Ergänzung zur Gefahrenbeurteilung zu verstehen. Egal, welches Programm verwendet wird, muss die Anwenderin die Szenarien bereits kennen und eine Vorstellung der zu erwartenden Resultate und Grössenordnungen haben. Weiter soll wenn möglich eine Kalibrierung mit gut dokumentierten Ereignissen durchgeführt, sowie die Resultate im Feld plausibilisiert werden.

5.8.3 Grosse spontane Rutschungen

Bei diesen Prozessen werden üblicherweise keine Simulationen durchgeführt.

5.9 Ausarbeitung Intensitätskarten (und Gefahrenkarte)

Intensitätskarten werden i.d.R. nur bei den spontanen Rutschprozessen erstellt, und zwar basierend auf den Analysen (gem. Abbildung 10) und allenfalls Simulationsresultaten. Bei den permanenten Rutschungen leitet sich die Gefahrenkarte 1:1 aus der Intensitätskarte ab.

5.9.1 Permanente Rutschungen

Die Intensitäten bei permanenten Rutschprozessen werden in erster Linie durch die langjährige, durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit definiert (< 2 cm/Jahr / 2 – 10 cm/Jahr/ > 10 cm/Jahr). Diese Angaben liefern eine Grundeinstufung (schwach, mittel, stark), die bei der Überlagerung

- mit der Beschleunigung oder **Reaktivierung (v_{max}) und/oder Differentialbewegungen** um eine bis zwei Intensitätsklassen **heraufgestuft** werden kann
- mit dem **Tiefgang der Rutschung** um eine Intensitätsklasse **herabgestuft** werden kann

Die aus der Szenarienbildung (vgl. Kapitel 5.7.2) resultierenden Intensitätsklassen können direkt in die Gefahrenkarte umgesetzt werden. Daher entfallen z.T. die Intensitätskarten bei den permanenten Rutschprozessen.

5.9.2 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen

Die **definitive Abgrenzung der Hangmurenprozessräume** erfolgt zusammen mit der Erstellung der Intensitätskarten resp. mit der Ausscheidung der Auslauf- und Ablagerungsräume. Grundsätzlich wird für die **Festlegung der Intensitäten** zwischen Anrissbereich und Transit-/Ablagerungsbereich unterschieden (Tabelle 1).

- **Anrissbereich**: Festlegung der mobilisierbaren Mächtigkeit einer Hangmure
- **Transit- und Ablagerungsbereich**: Festlegung der potentiellen Ablagerungshöhe (h).

Tabelle 1 Intensitätsklassen Hangmuren und flachgründigen spontane Rutschungen für Anriss- sowie Transit- und Ablagerungsbereich (vgl. Tabelle im Anhang, BAFU (2016)).

Prozessbereich	Schwache Intensität	Mittlere Intensität	Starke Intensität
Anrissbereich	M < 0.5 m	0.5 m < M < 2 m	M > 2 m
Transit- und Ablagerungsraum	Übersarung (h) im Dezimeterbereich (nur für Hangmure)	h < 1 m	h > 1 m

Der Prozessraum auf der Gefahrenkarte wird üblicherweise in zwei Abschnitte unterteilt: Der Anrissbereich bildet zusammen mit dem Transit- und Hauptablagerungsbereich den Prozessabschnitt mit den stärksten Prozesseinwirkungen. Im distalen Ablagerungsbereich, dem zweiten Abschnitt, sind die Prozesseinwirkungen deutlich geringer.

5.9.3 Grosse spontane Rutschungen

Bei diesen Prozessen tritt aufgrund der starken Beschleunigung (v_{max}) ausschliesslich starke Intensität auf.

5.10 Plausibilisierung (im Gelände)

Die Plausibilität der erarbeiteten Intensitätskarten oder Gefahrenkarte ist im Gelände zu überprüfen und die Karten allenfalls anzupassen.

- Vergleich der Simulationsresultate und Intensitätskarten mit Kleintopographie (mögliche lokale Gegebenheiten abschätzen; Einschätzen des Einflusses von Neigungsunterschieden, Geländevertiefungen etc.; wo ist die Hauptfliessrichtung der Hangmure?).
- Beurteilung des Einflusses von Gebäuden auf die Fliesswege/Reichweite von Hangmuren (lokales Ablenken oder Stoppen)
- „Finetuning“ der Grenzen des gefährdeten Gebietes (anzustrebende „Genauigkeit“ $\leq$ 10 m).

  Bei starker Gefährdung und im Siedlungsraum sollte das „Finetuning“ generell besser/exakter respektive aufwändiger sein als bei geringer Gefährdung ausserhalb von Siedlungen

5.11 Allgemeine Dokumentation

Die Erkenntnisse der Gefahrenbeurteilung sind sachlich richtig, nachvollziehbar und zielgruppenorientiert zusammenzufassen. Die Dokumentation soll für den Leser mit technischem Grundwissen ohne Rückfragen verständlich und nutzbar sein. Die verwendeten Dokumente, sowie die Grundlagen zu den Simulationen sind zusammenzufassen und zu dokumentieren.

Dokumentation:

- Aufbau und Inhaltsverzeichnis gemäss Absprache mit Auftraggeber (in den meisten Kantonen gibt es entsprechende Vorgaben)
- So kurz wie möglich, so umfangreich wie nötig. Allenfalls ist zwischen Naturgefahrenspezialist und Gemeindebehörde zu unterscheiden.
- Hinweise auf rutschspezifische Besonderheiten
- Nachvollziehbarkeit: Erläuterung von Tatsachen und Annahmen
- Bilder helfen komplexe Inhalte zu begreifen
- Wertung der Gefahrenkarte für Gemeinde und Sicherheitsdienste (Simulationen nicht gleich Realität).
- Karte der Phänomene 1:2‘000 – 1:10‘000
- Karte mit Projektperimeter 1:10‘000 – 1:25‘000
- Intensitätskarten in der Regel 1: 5'000 – 1:10‘000
- Gefahrenkarte 1: 5'000 – 1:10‘000

Mögliche Anhänge:

- Rutschspezifische Besonderheiten (insb. dokumentierte Ereignisse, bzw. Auszug Naturereigniskataster, Schutzbautenkataster mit Wirkungsbeurteilung, Hangneigungskarten, Vermessungskarten und quantitative Angaben (Tabellen), Übersichtspläne mit Anrissgebieten und Auslaufgebieten etc.)
- Zusammenfassung der wesentlichen Resultate in z.B. Prozessquellendatenblatt (oder "Szenarienblatt"; Prozessdatenblättern (siehe Anhang 3 – Beispiele für Faktenblätter).
- Falls Simulationen durchgeführt wurden, sind diese so zu dokumentieren, dass auch Drittpersonen nachvollziehen können, welche Eingabegrössen für die Simulation verwendet wurden und wo die Hauptfunktionalitäten des verwendeten Programms liegen.

6 Weitere Themen

6.1 Einfluss Klimawandel

Die Klimaänderung wirkt sich hauptsächlich auf die variable Disposition von Gefahrenprozessen sowie das auslösende Ereignis (Trigger) aus. Im hochalpinen, periglazialen Raum hingegen wirkt sich der Klimawandel auch auf die Grunddisposition der Gefahrenprozesse aus. Der Zustand des festen Untergrundes wird durch auftauenden Permafrost und abschmelzende Gletscher grundlegend verändert.

In der Gefahrenbeurteilung sind allfällige klimabedingte Systemveränderungen zu berücksichtigen. Wie und in welchem Rahmen ist mit dem Auftraggeber resp. der kantonalen Fachstelle zu besprechen.

Sowohl Kriechbewegungen als auch andere Massenbewegungen reagieren empfindlich auf Niederschlags- und Temperaturänderungen. Als Folge des Klimawandels häufen sich Extremereignisse und/oder dass v.a. im Winterhalbjahr intensiverer Niederschlag zu erwarten ist. Hangmuren treten aufgrund häufigerer Starkniederschläge vermehrt auf und Rutschungen werden durch den erhöhten Wasseranfall im Winterhalbjahr vermutlich aktiver. Im periglazialen Raum führen Tauprozesse (Permafrostdegradation) und Gletscherrückzug zu einer Destabilisierung der Hänge (Huggel et al. 2010). Die Viskosität und Bruchfestigkeit von Eis ist stark temperaturabhängig und die Ausdehnung eines Permafrostkörpers passt sich zeitlich verzögert an sich verändernde Oberflächentemperaturen an. Damit hinken die Massenbewegungen den Temperaturveränderungen in den alpinen Höhenlagen hinterher. Dabei ist im periglazialen Raum zu beachten, dass die verschiedenen Rutschprozesse grundsätzlich nur in wenigen Fällen ein aktives Gefahrenpotenzial bilden, vielmehr liefern sie einen u.U. entscheidenden Geschiebeeintrag in die Wildbachsysteme. Somit wird eine erhöhte Rutschaktivität mit einem verstärkten Geschiebeeintrag in Wildbäche und Gebirgsflüsse einhergehen. Dies kann sowohl das Murgangpotenzial in einem Gebiet deutlich erhöhten, oder aber flussabwärts bei flachem Geländeverlauf zu Problemen führen (AG Nagef, 2015).

6.1.1 Permanente Rutschungen und Hangkriechen

Die klimatischen Veränderungen werden in einigen Jahreszeiten zu intensiveren Niederschlägen führen, was die Aktivität permanenter Rutschungen und von kriechenden Hängen begünstigt (IFEC ingegneri SA, 2016). Deshalb ist in Zukunft mit **langandauernden resp. generell stärkeren Aktivphasen** zu rechnen - eine Tendenz, die in den alpinen Gebieten teilweise schon heute beobachtet wird. Die Auswertungen von Niederschlags- und Rutschmessungen zeigen z.B. in Grindelwald einen direkten Zusammenhang zwischen den Niederschlagsmengen im Winterhalbjahr und Reaktivierungen im Frühsommer des Folgejahres. Es darf davon ausgegangen werden, dass dies auch in anderen Gebieten mit grossen permanenten Rutschungen ähnlich ist.

Wichtige **Aspekte, welche im Zusammenhang mit dem Klimawandel** beurteilt werden sollten:

- Auswirkungen von ausserordentlichen Niederschlägen im Winterhalbjahr auf die Reaktivierung
- Auswirkungen von starken und intensiven Schneeschmelzen auf die Reaktivierung
- Auswirkungen auf die grundsätzliche Rutschanfälligkeit sowie Reaktivierungen bei Rutschungen oder Sackungen im Einflussbereich des periglazialen Raumes
- Auswirkungen einer erhöhten Rutschaktivität auf Folgeprozesse (erhöhter Geschiebeinput für Wildbachprozesse – siehe auch Kapitel 6.2)

Generell kann aber festgehalten werden, dass in den überwiegenden Gebieten, wo heute keine Anzeichen auf grosse, permanente Rutschungen vorhanden sind, auch in naher Zukunft kaum neue, grosse Rutschgebiete zu erwarten sind. Im Periglazialraum hingegen kann es durchaus sein, dass in Bereichen mit stark auftauendem Permafrost neue permanente Rutschungen auftreten können.

6.1.2 Hangmuren / kleine spontane Rutschungen

Die Häufigkeit von Hangmuren ist davon abhängig, wie oft der Wassergehalt im Untergrund genügend hoch ist, damit die Stabilitätsgrenze unterschritten wird und das Material in Bewegung kommt. Dies ist vom Wasserzufluss vor und während eines Ereignisses abhängig. Die Magnitude hängt vor allem von der Menge des verfügbaren Materials ab. Im hochalpinen Gelände bildet die Permafrostdegradation den entscheidenden Parameter. In den übrigen Gebieten sind bezüglich Magnitude kaum Änderungen zu erwarten.

Einfluss Grunddisposition

Im periglazialen Raum kann der Klimawandel die Grunddisposition von Hangmuren und spontanen Rutschungen beeinflussen (Veränderung des Untergrundes durch Tauprozesse). Für gefrorene Schuttkörper führt das Auftauen (des Permafrostes) dazu, dass die Stabilität des Lockermaterials abnimmt (Rist, 2007). Die Geschwindigkeit und der Umfang der Degradation sind dabei von Faktoren wie Exposition und Ausaperung, sowie vom Eisgehalt des Permafrostkörpers abhängig. Eisreiche Permafrostkörper reagieren träger als eisarme, denn ein hoher Eisgehalt dämpft den Schmelzprozess.

Einfluss Variable Disposition

Bei der variablen Disposition können in tieferen Lagen die erwarteten höheren Niederschlagssummen im Winter häufiger zu einem höheren Hang- resp. Grundwasserspiegel und damit zu einer erhöhten Disposition führen. Verstärkend wirkt, dass im Winter dem Boden durch die Evapotranspiration kaum Wasser entzogen wird und damit länger eine hohe Bodensättigung erhalten bleibt (KOHS, 2007).

In hohen Lagen, wo der Winterniederschlag hauptsächlich als Schnee fällt, kann im Frühling wegen der intensiveren Schneeschmelze mehr Wasser in den Boden eindringen. Dadurch steigen der Hangwasserspiegel und damit auch die variable Disposition für Hangmuren.

6.1.3 Grosse spontane Rutschungen

Das Auftreten grosser spontaner Rutschungen als Sekundärprozess, z.B. in frontalen Bereichen von permanenten Rutschungen oder an Gerinneeinhängen, ist direkt an die Sensititvität der entsprechenden Primärprozesse gebunden. Häufigkeit und Magnitude hängen von der Auswirkung der Veränderung auf den Hauptprozess ab.

Grosse spontane Rutschungen als Primärprozesse in Gletscherrückzugsgebieten aufgrund der Hangentlastung oder aus glazialen Sedimentdepots (Bastionsmoränen oder Blockgletschern) unterliegen dem direkten Einfluss der Permafrostdegradation und dem erhöhten Wasseranfall durch veränderte Niederschlagsverhalten. Die Klimasensitivität wirkt sich im Wesentlichen in der Grunddisposition aus, d.h. sie verhält sich analog den Hangmuren.

6.2 Prozessketten

Im Gegensatz zu den Prozessübergängen kommt es bei den Prozessketten nicht zu einer Abfolge gleichartiger Prozesse, sondern durch das Zusammentreffen unterschiedlicher Prozesse oder Einwirkungen zu einer Verschärfung des Gefahrenprozesses. Zum Beispiel kann eine an und für sich 'harmlose' kleine Rutschung im Gerinneeinhang, zu einem kurzzeitigen Wasserrückstau im Gerinne führen und dadurch einen Murgang auslösen. Bei der Gefahrenbeurteilung ist daher ein spezielles Augenmerk auf mögliche Prozessketten zu legen, insbesondere wenn sie zu einer Verschärfung der Gefährdung führen können. Hierbei ist die Kommunikation zwischen Fachexpertinnen wichtig. Prozessketten gewinnen vor allem im Zusammenhang mit dem Klimawandel und Prozessen im periglazialen Raum an Bedeutung. Rutschungen bilden dabei oftmals einen zusätzlichen Geschiebeherd für grosse Murgänge.

Beispiele:

- Rutschung auf wassergesättigte Gerinnesohle kann durch die plötzliche Auflast einen Murgang auslösen.
- Rutschung verstopft Gerinne (Dammbildung). In der Folge muss mit Dammbruch und anschliessender Flutwelle oder mit Verflüssigung und entsprechend hohem Geschiebetransport gerechnet werden.
- Schneeschmelze während Starkniederschlägen (Niederschlag auf Schnee) führt zu einem deutlich erhöhten Abfluss in den Gerinnen. Als Folge können ausserordentlich starke Erosion oder Gerinneeinhangrutschungen und Murgänge auftreten.

6.3 Präsentation/Kommunikation der Resultate

Siehe Modul Grundlagen.

6.4 Umgang mit Unsicherheiten

Generell siehe Modul Grundlagen.

Bei der Beurteilung von Rutschungen sind die Unsicherheiten generell gross. Ohne verlässliche Basisinformationen z.B. zu den langjährigen, durchschnittlichen Bewegungsraten oder dem Reaktivierungspotential bei permanenten Rutschungen können nur qualitative Annahmen aufgrund der Feldbefunde getroffen werden – mit entsprechender Unsicherheit. Bei der Hangmurenbeurteilung hängt vieles vom „unsicheren“ hydrogeologischen und pedologischen Aufbau des Hanges ab. Ohne verfeinerte Aufnahmemethoden sind die Unsicherheiten auch hier sehr gross. Diese müssen klar kommuniziert werden.

6.5 Qualitätssicherung

Siehe Modul Grundlagen.

Literatur

Abteilung Naturgefahren Kanton Bern (2017): Objektschutzgutachten Hangmuren, Empfehlung, V1.0 – Juni 2017.

AGN (2004): Gefahreneinstufung Rutschungen i. w. S., Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren, Entwurf, Zollikofen, 45 S.

AG NAGEF (2015): Klimawandel und Naturgefahren – „welche Veränderungen sind im Berner Oberland zu erwarten?“. September 2015, Interlaken.

BAFU (2000): Vom Gelände zur Karte der Phänomene, Vollzug Umwelt, VU-7510-D, 53 S.

BAFU (2010): Rutschungen: Hydrogeologie und Sanierungsmethoden durch Drainagen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1023:128 S.

BAFU (2016): Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608: 98 S.

BWW, BUWAL (1995): Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, Vollzug Umwelt, VU-7502-D, 60 S.

Boll-Bilgot S., Parriaux A. (2018): Méthode de caractérisation in situ des formations superficielles meubles et application à l’étude des coulées de boue (GEOLEP-Méthode). Swiss Bulletin angewandte Geologie Vol. 23/1.

Bründl M. (2009): Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 420 S.

FAN (2016): Veränderungen im Periglazial / Prozessketten. Fachleute Naturgefahren Schweiz, Kursunterlagen Herbstkurs 2016, 76 S.

Gefahrenkommission Graubünden (2015): Arbeitsanleitung Gefahrenkarten Hangmuren, Amt für Wald und Naturgefahren, 4 S.

Huggel Chr., Fischer L., Schneider D., Haeberli W. (2010): Research advances on climate-induced slope instability in glacier and permafrost high-mountain environments, Geographica Helvetica, Jg. 65, Heft 2010/2.

Hungr, O. (2013): The Varnes classification of landslide types, an update, Landslides: Springer Verlag Berlin-Heidelberg, published online.

IFEC ingegneria SA (2016): Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz: Fallstudie Kanton Tessin

Kienholz, H. (1977): Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1:10'000 von Grindelwald, mit einem Beitrag von Walter Schwarz, Geographica Bernensia, G4.

Kienholz H. (2005): Analyse und Bewertung alpiner Naturgefahren - eine Daueraufgabe im Rahmen des integralen Risikomanagements. Geographica Helvtica, Jg. 60, Heft 1.

KOHS (2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. Ein Standortpapier der KOHS. Wasser Energie Luft, 2007: 99(1).

Riner R. (2009): Geotechnische analysen von Lockergesteinen zur Modellierung von Rutschdispositionen im Untersuchungsgebiet Niesen. Masterarbeit Universität Bern (unveröffentlicht), 103 S.

Rist (2007): Hydrothermal processes with the active layer above alpine permafrost and their influence on slope stability in steep scree slopes. Dissertation. University of Zurich. Published on-line September 2007, 168 S.

Romang H. (2008): Wirkung von Schutzmassnahmen (PROTECT). Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 289 S.

Selby, H.M. (1993): Hillslope materials and Processes, Oxford University Press, Oxford

Sidle R.C., Ochiai H. (2016): Landslides – Processes, Prediction and Landuse. AGU, Washington, 311 S.

Wyss R., Gruner U., Liniger M. (2018): Verbesserung der Hangmurenbeurteilung. Swiss Bulletin angewandte Geologie, Vol. 23/1, 2018

VKF (Hrsg.) (2005): Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren, Bern, 109 S.

TRAMM (http://www.step.ethz.ch/step-tramm.html)

Glossar

Auslöser/Trigger: Kurzfristige Belastung des Systems durch Ereignis, welches einen Prozess auslöst und/oder beschleunigt z.B. aussergewöhnliche Witterungsverhältnisse (langanhaltende und/oder starke Niederschläge, Schneeschmelzen), Wasserinput von unten wie z.B. durch Karst, auftauenden Permafrost oder eine Störung des Gleichgewichtes durch Erosion (Entlastung) am Hangfuss.

Beschleunigung: Geschwindigkeitszunahme, welche die natürliche Schwankung übersteigt. Die Beschleunigung ist an eine Wahrscheinlichkeit gebunden.

Disposition: Die Bereitschaft oder Anfälligkeit eines Gebietes / eines Hanges zur Bildung und Auslösung von Rutschungen im weiteren Sinne. Unterschieden werden Grunddisposition, variable Disposition und auslösendes Ereignis (Trigger).

Einsturzprozesse/Absenkungen: Prozesse, welche in Zusammenhang mit der Auslaugung eines wasserlöslichen Untergrundes (Kalk, Dolomit, Gips und auch Rauhwacke), der Erosion oder infolge bereits bestehender unterirdischer Hohlräume entstehen.

Fliessprozesse: Oberflächennahe Bewegungen, bei denen Scherflächen nicht erhalten sind oder höchstens in der Initialphase auftreten. Hangmuren sind den Fliessprozessen zuzuordnen.

Gleitprozesse: Hangabwärts gerichtete Bewegungen von Fest- und/oder Lockergestein (sowie Bodenmaterial) auf einer Gleitfläche. Rutschungen gehören zu den Gleitprozessen.

Grosse spontane Rutschung: Spontanes Abgleiten von Fest- und/oder Lockergestein mit Volumina über tausend Kubikmetern mit starker Beschleunigung. Tritt meist als Sekundärprozess in Zusammenhang mit reaktivierten permanenten Rutschungen, Gletscherrückzug, etc.

Grunddisposition: Die grundsätzliche, über längere Zeit gleichbleibende Bereitschaft zu Rutschprozessen (der „Charakter“). Die Grunddisposition wird bestimmt durch über längere Zeiträume konstant bleibende Parameter.

Hakenwurf: Eine Form von Hangkriechen mit Bewegungen der Gesteinskörper nahe der Oberfläche, bedingt durch ein gut ausgebildetes Kluftsystem. Weist analog dem Hangkriechen auch keine Gleitfläche auf.

Hangmuren: Spontan abgleitendes Gemisch aus Erde, Steinen und Wasser, welches ausserhalb eines Gerinnes abfliesst. Hangmuren gehören zu den Fliessprozessen.

Karte der Phänomene: Hält die im Feld beobachteten geologisch-geomorphologischen Merkmale und Indikatoren kartographisch fest.

Kleine spontane Rutschung: Spontanes Abgleiten oberflächlichen Lockergesteins (sowie Bodenmaterial) ohne Materialverflüssigung mit Volumina bis tausend Kubikmeter.

Kriechbewegungen/Hangkriechen: Mechanische Spezialfälle von Massenbewegungen, die gemäss Vollzugshilfe BAFU 2016 den Gleitprozessen zugeordnet werden. Die Bewegungen werden hauptsächlich durch eine Scherdeformation in der bewegten Masse verursacht (d. h. ohne Gleitfläche im engeren Sinn). In der Geotechnik primär für untiefe Bewegungen verwendet.

Kritische Hangneigung: Entspricht der mittleren Hangneigung (i_{quer}) dokumentierter und kartierter Hangmurenanrissgebieten in gleicher Geologie minus einer Standardabweichung (i_s).

Langjährige Durchschnittsgeschwindigkeit (v): Geschwindigkeit einer aktiven Rutschung über eine längere Betrachtungsdauer inkl. natürlichen Schwankungen.

Murgänge: Gemisch aus Erde, Steinen und Wasser, welches in einem bestehenden Gerinne zu Tal fliesst.

Permanente Rutschung: Mehr oder weniger kontinuierliches, hangabwärts gerichtetes Abgleiten von Fest- und/oder Lockergestein.

Prozessquelle: Bei den Hangmuren und permanenten Rutschungen umfasst eine Prozessquelle einen potentiellen Hangmurenhang mit gleicher Disposition resp. das permanente Rutschgebiet.

Reaktivierung: Stark ausgeprägte Geschwindigkeitsänderung (v_{max}) (im Extremfall von Null auf mehrere Meter pro Jahr).

Rotationsrutschungen: Die Rutschmasse gleitet entlang einer konkaven Bruchfläche gravitativ hangabwärts.

Sackungen: Gravitative Bewegungen in Festgesteinen mit einer ausgeprägten vertikalen Bewegungskomponente.

Scherzone: Bereich an der Basis der Rutschung mit einer Serie von Gleitflächen.

Spontane Rutschungen: Flach- bis tiefgründige Rotations- oder Translationsrutschungen, die ohne Vorzeichen und vorgängige Bewegung schnell und spontan auftreten.

Stauchwülste: Zonen mit Kompression.

Talzuschub: Tiefgründige, langsame Rutschungen. Primär im deutschen Sprachraum verwendet.

Tiefgang/Gründigkeit: Tiefe der Gleitfläche resp. Mächtigkeit einer Rutschung. Es wird unterschieden zwischen, flach- (bis 2 m), mittel- (2 - 10 m), tief- (10 - 30 m) und sehr tiefgründig (>30 m).

Translationsrutschung: Gleiten von Schichten oder ganzen Schichtpaketen entlang einer bestehenden, fast flachen Schwächezone.

Variable Disposition: Die bei gegebener Grunddisposition zeitlich variable, in einem bestimmten Umfang schwankende oder sich entwickelnde effektive Disposition zu Rutschprozessen (die „Laune“). Zur variablen Disposition gehören die jahreszeitlichen Veränderungen, aber auch die Vorgeschichte (Feuchteverhältnisse) in einem Abhang oder einem Einzugsgebiet.

V_{max}: Maximale Geschwindigkeit während einer Beschleunigungsphase oder nach einer Reaktivierung. V_{max30} steht für ein Ereignis mit einer dreissigjährlichen Wiederkehrperiode; v_{max100} steht für ein hundertjährliches Ereignis, bzw. eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren; v_{max300} steht für ein Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren.

Zerrspalten: Zonen von Extension.

Zonen differentieller Bewegungen: Grenzbereich zu Zonen mit unterschiedlichen Bewegungsgeschwindigkeiten und/oder Bewegungsrichtungen mit wirksamen Scherkräften.

Linkverzeichnis

Bildarchiv ETH:
https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/karten-geodaten-online/lubis.html

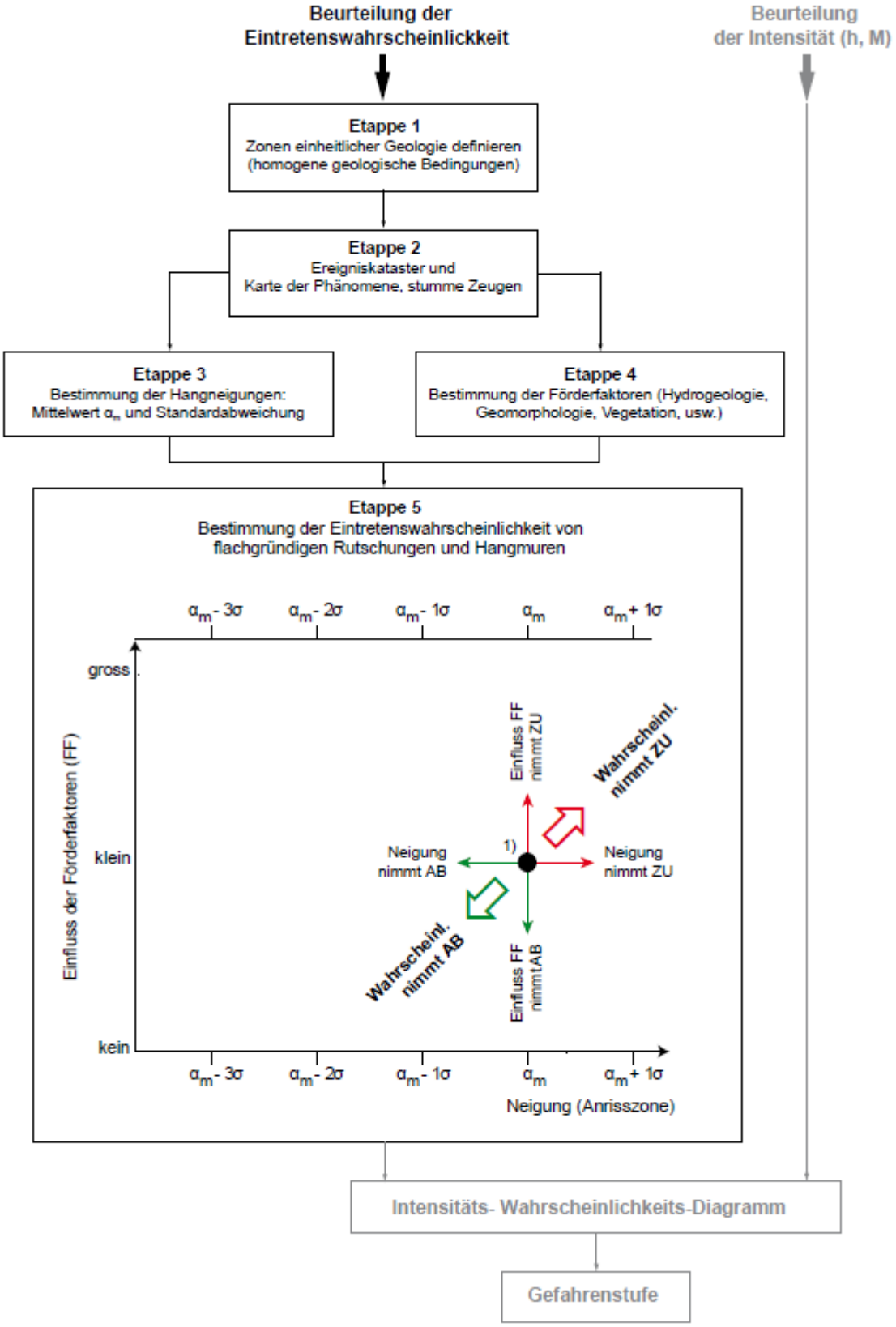
Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT:
http://www.planat.ch/de/fachleute/arbeitsgrundlagen-naturgefahren/gefahren-und-risikoanalyse/

Wirkung von Schutzmassnahmen PROTECT
http://www.planat.ch/de/infomaterial-detailansicht/datum/2008/01/01/planat-projekt-a3-wirkung-von-schutzmassnahmen/ -> Schlussbericht 2 und/oder Teil D (Rutschungen)

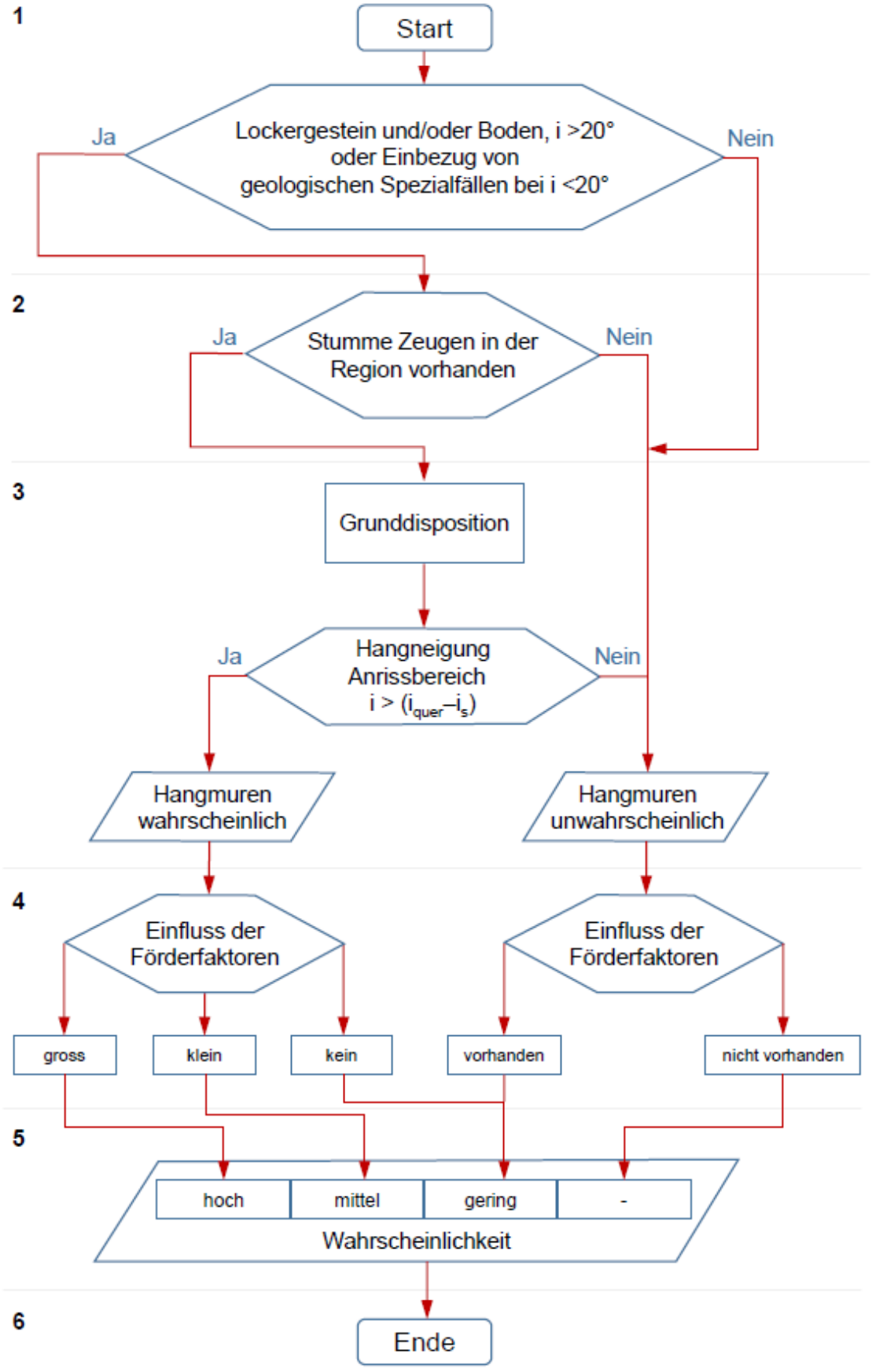
Karte und Kartierung der Phänomene inkl. Symbolbaukasten
https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/naturgefahren/fachinformationen/naturgefahrensituation-und-raumnutzung/gefahrengrundlagen/naturgefahren--karte-der-phaenomene.html

Anhang 1 – Flussdiagramm Hangmuren

Flussdiagramm zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit bei Hangmuren (BAFU, 2016).



Flussdiagramm zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit bei Hangmuren (AGN, 2004).

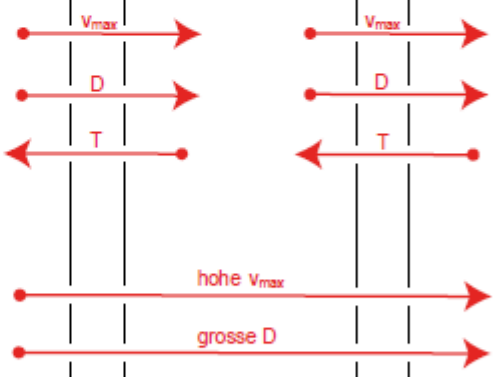


Anhang 2 – Kriterien zur Bestimmung der Intensität

Kriterien zur Bestimmung der Intensität (aus BAFU, 2016).

Abkürzungen, Erklärungen und Hinweise in den darauf folgenden Inforahmen:
E = Kinetische Energie [kJ]
v = Durchschnittliche (langjährige) Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr]
v_{max} = Maximale Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr]
D = Differentialbewegungen innerhalb einer Gebäudenutzungsdauer [cm/10 m]
T = Tiefe der Gleitfläche, Gründigkeit der Rutschung [m]
M = Mächtigkeit der mobilisierbaren Masse (potentiell) [m]
h = Höhe der Ablagerung durch Hangmuren, bzw. Rutschungen (Murganghöhe) [m]

Prozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
1. Sturzprozesse			
- Stein-, Blockschlag	E <30 kJ	30 kJ < E <300 kJ	E >300 kJ
- Felssturz	–	–	E >300 kJ
- Bergsturz	–	–	E >300 kJ
2. Gleitprozesse			
2.1 Aktive, kontinuierliche, permanente Rutschungen (auch die Prozesse im Permafrost)	v ≤2 cm/Jahr	2 cm/Jahr < v <10 cm/Jahr	v >10 cm/Jahr
2.2 Spontane Rutschungen	M <0.5 m	0.5 m < M <2 m h <1 m	M >2 m h >1 m
3. Fliessprozesse Hangmuren	M <0.5 m; Übersarung (h) im Dezimeterbereich	0.5 m < M <2 m h <1 m	M >2 m h >1 m
4. Einsturzprozesse, Absenkungen (z. B. Dolinen)	Dolinen potenziell vorhanden oder lösungsanfällige Gesteine	Dolinen vorhanden, nachgewiesen	Dolinen und eine Einsturzgefährdung sind nachgewiesen



Kriterien zur Bestimmung der Intensität von permanenten Rutschungen (aus BAFU, 2016).

v_{max} = Maximale Rutschgeschwindigkeit [cm/Jahr]

Eine Beschleunigung von Rutschungen hat eine höhere Gefährdung und folglich eine höhere Gefahrenstufe zur Folge. v_{max} wird definiert über die maximale Geschwindigkeit während einer Beschleunigungsphase oder nach einer Reaktivierung. Definition: v_{max30} steht für ein Ereignis mit einer dreissigjährlichen Wiederkehrperiode; v_{max100} steht für ein hundertjährliches Ereignis, bzw. eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren; v_{max300} steht für ein Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren.

- *Rutschgeschwindigkeitsänderung (v_{max}) für den Wechsel von einer Intensitätsstufe (kurzer Pfeil): v_{max30} > ca. 20 cm/Jahr oder v_{max100} > ca. 40 cm/Jahr oder v_{max300} > ca. 50 cm/Jahr.*
- *Rutschgeschwindigkeitsänderung (v_{max}) für den Wechsel von zwei Intensitätsstufen, d. h. von schwacher in die starke Intensität (langer Pfeil, «hohe v_{max}»): v_{max30} > ca. 50 cm/Jahr oder v_{max100} > ca. 70 cm/Jahr oder v_{max300} > ca. 80 cm/Jahr.*

Wird eine Beschleunigung innerhalb eines Quartals gemessen, so soll die entsprechende Jahresgeschwindigkeit berechnet werden: Gemessene Verschiebung im Quartal multipliziert mit 4 ergibt die äquivalente Jahresgeschwindigkeit. Diese Methodik ist analog für ein Semester oder drei Quartale anzuwenden.

Die genauen Vermessungswerte von v und v_{max} liegen bei einer flächendeckenden Gefahrenkartierung (Massstab M2) häufig nicht vor. Zudem sind geodätische Messdaten und entsprechende Angaben bei detaillierten Studien (Stufe M3) oder bekannten Rutschungen nicht unbedingt verfügbar. Kantonale und eidgenössische Behörden sowie Geometer können möglicherweise geodätische Daten und Geschwindigkeiten zur Verfügung stellen (s. auch INSAR-Daten des BAFU). In Anbetracht möglicher Entwicklungen und einer Beeinflussung durch die Klimaänderung können potenzielle Beschleunigungen auch als entsprechende Szenarien ohne vorliegende Messdaten definiert werden. Potenzielle Reaktivierungen und Beschleunigungen können u. a. von Niederschlägen, Schneeschmelze, unterirdischen Wasserzutritten und Erosionsprozessen (z. B. Wildbacherosion am Rutschfuss) beeinflusst werden. Für die Festlegung der Szenarien braucht es Erläuterungen und Begründungen.

D = Differentialbewegungen

Differentialbewegungen werden gemessen an der absoluten differenziellen Verschiebung in Zentimetern bezogen auf eine einheitliche Breite von 10 Metern [cm/10 m]. Der Differentialwert bezieht sich auf eine Nutzungsdauer des betroffenen Gebäudes und steht in Beziehung zur Tragsicherheit sowie zur Gebrauchstauglichkeit (z. B. über ca. 50 Jahre).

- *Differentialbewegung für den Wechsel von einer Intensitätsstufe (kurzer Pfeil): D = 2–10 cm/10 m*
- *Differentialbewegung für den Wechsel von zwei Intensitätsstufen (langer Pfeil, «grosse D» oder «DD»): D >10 cm/10 m.*

T = Tiefe der Gleitfläche (Gründigkeit der Rutschung)

Die relevante (oberste) Gleitfläche muss für eine Rückstufung mindestens 30 m unter Boden liegen. Eine Entschärfung (Rückstufung um eine Intensitätsstufe) kann nur dann erfolgen, wenn folgende drei Bedingungen gleichzeitig erfüllt werden:

1. *Grössere, sehr tiefgründige, zusammenhängende Rutschmasse.*
2. *Phänomenologisch homogene Bereiche ohne höher liegende Sekundärgleitflächen.*
3. *Mit geodätischen Messungen belegte, zeitlich gleichförmige Bewegungsdynamik.*

Eine Rückstufung der Intensität mit der Tiefe der Gleitfläche kann für Geschwindigkeiten von maximal zirka 20 cm/Jahr erfolgen, wenn die Bedingungen 1–3 erfüllt sind.

Anhang 3 – Beispiele für Faktenblätter

Tabelle 2 Möglicher Inhalt Datenblatt permanente Rutschungen (Vorlage Kanton Bern, leicht modifiziert).

Prozessquelle permanente Rutschungen (-> Name Lokalität)	
Prozessquelle	Beschreibung und räumliche Abgrenzung
Charakteristik	Beschreibung Rutschgebiet, Geländebefunde (Geologie, Geomorphologie, Bodenwasserhaushalt, Gründigkeit Rutschung, Volumen der Rutschung, Beeinflussung z.B. durch Gerinne (Erosion), Resultate Monitoring), nach Möglichkeit geologisches Modell
Ereigniskataster	Datum Kurzbeschrieb
	Datum Kurzbeschrieb
	Datum Kurzbeschrieb
	Datum Kurzbeschrieb
	Datum Kurzbeschrieb
Sichtbare Phänomene	Beschreibung
Fotos	Charakteristische Fotos der Rutschung
Rutschgeschwindigkeit	Beschreibung und Herleitung
Reaktivierungspotential	Beschreibung
Differentialbewegungen	Disposition zu Differentialbewegungen
Tiefgang	Beschreibung
Schutzbauten	Schutzbaute A Beschreibung, Zustand, Dimensionierung usw. Beurteilung nach Protect: Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit → Zuverlässigkeit Schutzbaute B Beschreibung, Zustand, Dimensionierung usw. Beurteilung nach Protect: Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit → Zuverlässigkeit
BAFU Methodik	Beschreibung (Herleitung Intensitätseinstufung)
Fotos	Ausgewählte Fotos zu den Schutzbauten
Gefahrenkarte	Beschreibung Ereignisablauf der verschiedenen Szenarien, Auswirkungen und Konfliktpotential
Bearbeiter/in, Datum	

Tabelle 3 Möglicher Inhalt Datenblatt Hangmuren (Vorlage Kanton Bern, leicht modifiziert).

Prozessquelle Hangmuren (-> Name Lokalität)			
Prozessquelle	Beschreibung und räumliche Abgrenzung		
Charakteristik	Beschreibung Anriss-, Transit- und Ablagerungsgebiet, Geländebefunde (generelle Disposition, kritische Hangneigungen, Bodenwasserhaushalt, Förderfaktoren, Mächtigkeiten Lockermaterial, Geologie, stumme Zeugen)		
Ereigniskataster	Datum	Kurzbeschrieb	
	Datum	Kurzbeschrieb	
	Datum	Kurzbeschrieb	
	Datum	Kurzbeschrieb	
	Datum	Kurzbeschrieb	
Sichtbare Phänomene	Beschreibung		
Fotos	Charakteristische Fotos des Prozessraumes		
	P30	P100	P300
	M = xy m	M = xy m	M = xy m
	V = xy m^3	V = xy m^3	V = xy m^3
Schutzbauten	Schutzbaute A Beschreibung, Zustand, Dimensionierung usw. Beurteilung nach Protect: Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit → Zuverlässigkeit Schutzbaute B Beschreibung, Zustand, Dimensionierung usw. Beurteilung nach Protect: Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit → Zuverlässigkeit		
Fotos	Ausgewählte Fotos zu den Schutzbauten		
BAFU-Methodik	Beurteilung Wahrscheinlichkeit (Förderfaktoren) Beschreibung		
	Beurteilung Intensität Beschreibung		
Gefahrenkarte	Beschreibung Ereignisablauf der verschiedenen Szenarien, Auswirkungen und Konfliktpotential		
Bearbeiter/in, Datum			