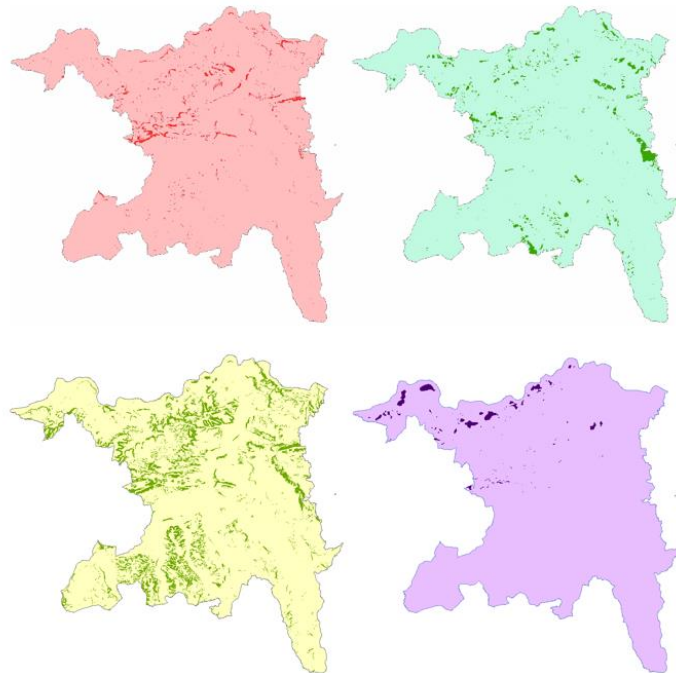


Kanton Aargau / Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung für Umwelt / Grundwasser, Boden und Geologie
Frau Dr. E. Jacobs
Entfelderstrasse 22
5001 Aarau

Gefahrenhinweiskarte Massenbewegungen

Technischer Bericht Erweiterte Fassung



Verfasser
Peter Jordan

Gruner AG
Mühlegasse 10
CH-4104 Oberwil
T +41 61 406 13 13
www.gruner.ch

Auftragsnummer
R 42'100'610.001 / 42'201'863.001

Datum
17.02.2023

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Auftrag	5
2 Einleitung	5
2.1 Einleitung zur erweiterten Fassung 2023	5
2.2 Einleitung zur ursprünglichen Fassung vom 17. Februar 2022	5
3 Prozess Sturz	7
3.1 Dokumentation der verwendeten Ausgangsdaten	7
3.2 Beschreibung der Datenaufbereitung	7
3.3 Festlegung der Prozessquellen und erster Expertenschritt	7
3.4 Beschreibung der Modellierung	8
3.5 Zweiter Expertenschritt	11
3.6 Beschreibung des Prozessraum-Datensatzes Sturz (Gefahrenhinweise)	12
3.7 Anwendungsmöglichkeiten und Vorbehalte	12
4 Prozess spontaner Rutsch / Hangmuren	13
4.1 Dokumentation der verwendeten Ausgangsdaten (Herkunft, Qualität)	13
4.2 Beschreibung der Datenaufbereitung	13
4.3 Festlegung der Prozessquellen und erster Expertenschritt	13
4.4 Beschreibung der Modellierung	14
4.5 Zweiter Expertenschritt	15
4.6 Beschreibung des Prozessraum-Datensatzes spontane Rutschung und Hangmuren (Gefahrenhinweise)	17
4.7 Anwendungsmöglichkeiten und Vorbehalte	18
5 Inventar der Permanenten Rutschungen	19
5.1 Dokumentation der verwendeten Ausgangsdaten (Herkunft, Qualität)	19
5.2 Beschreibung der Datenaufbereitung	19
5.3 Festlegung der Prozessgebiete	19
5.4 Beschreibung des Inventar-Datensatzes Permanente Rutschungen (Gefahrenhinweis)	22
5.5 Anwendungsmöglichkeiten und Vorbehalte	22
6 Inventar der Erdfall- und Einsturzgebiete	23
6.1 Dokumentation der verwendeten Ausgangsdaten (Herkunft, Qualität)	23
6.2 Beschreibung der Datenaufbereitung	23
6.3 Festlegung der Prozessgebiete	23
6.4 Beschreibung des Prozessraum-Datensatzes Erdfall und Einsturz (Gefahrenhinweise)	25
6.5 Anwendungsmöglichkeiten und Vorbehalte	25
7 Schlussfolgerungen	26
7.1 Analyse der potenziellen Gefährdung des Kantons Aargau durch Massenbewegungen	26
7.2 Verifizierung der Aussage der Analyse der Gefahrenhinweiskarte anhand von jüngeren Ereignissen	27
7.3 Integration der Gefahrenhinweiskarte in das Baubewilligungsverfahren	28
7.4 Schutzzielmatrix Massenbewegungen	29

Literatur

32

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Ablaufschema Erarbeitung Prozessgebiet Sturz	8
Abbildung 2: Prinzip Pauschalgefälle nach Gerber (1994, modifiziert) in zwei Dimensionen, rot: Sturz-Trajektorien	9
Abbildung 3: Pauschalgefälle (Konus) für zwei Winkel (kleiner gelb, grösser rot) in drei Dimensionen (aus Jaboyedoff 2003), blau: Startrasterzellen	9
Abbildung 4: Modellierung Sturz an der Brunnhalde in Wallbach	10
Abbildung 5: Ersatz einer gerasterten Ausbruchfläche durch die begrenzenden Rasterzellen als Startpunkte für die Conefall-Modellierung (aus Jaboyedoff 2003, modifiziert).	11
Abbildung 6: Ablaufschema Erarbeitung Prozessgebiet spontane Rutschungen und Hangmuren	14
Abbildung 7: Modellierung spontane Rutschung im Gebiet Rebe in Oberhof:	15
Abbildung 8: Modellierung spontane Rutschung und Hangmure an der Brunnhalde in Wallbach (vgl. Abbildung 7 für Erläuterung Teilabbildungen):	16
Abbildung 9: Permanente Rutschungen an Chestenberg (Gebiet Eichwald, Landesgoo. 2'657'100, 1'252'390, links) und westlich Boswil (Gemeinde Kallern, Gebiet Usserholz, Landesgoo. 2'664'050 1'238'500, rechts).	19
Abbildung 10: Links: Subrezenter Spontanrutsch in aufgelassene Tongrube (Schinznach Dorf, Gebiet Vorbäumlere, Landesgoo. 2'652'670, 1'256'125); rechts mehrere subrezente Rutschungen in permanentem Rutschgebiet (Chesselmatte bei Sulzberg, Landesgoo. 2'647'800, 1'264'265)	20
Abbildung 11: Links: Verkippen von Felsmassen im Gebiet Chinz bei Eiken (Landesgoo. 2'642'570, 1'265'270); rechts: schichtparalleles Abgleiten eines Felspakets nordwestlich Möhntal (Landesgoo. 2'651'630, 1'264'030)	20
Abbildung 12: Ablaufschema der Erarbeitung des Katasters der permanenten Rutschungen	21
Abbildung 13: Ablaufschema der Erarbeitung des Prozessgebietes Erdfall / Einsturz	24
Abbildung 14: Links: Kette von Dolinen (Holgassenrüttenen, Rheinsulz, Landesgoo. 2'649'500, 1'267'000); rechts: hier handelt es sich nicht um Dolinen, sondern um Pinggen (primitiven Erzabbau-Gruben) im Erzfeld östlich Döttingen (Landesgoo. 2'662'970, 1'269'300), die natürlich hier nicht erfasst wurden	24

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Statistische Auswertung der Gefahrenhinweiskarte hinsichtlich der prinzipiellen Landnutzung (die willkürlich angenommenen Flächen von Kantonsstrassen und Gewässer überschneiden sich teilweise mit den oben aufgeführten Nutzungen und der Landwirtschaft)	26
Tabelle 2: Ereignisse nach Erstellen der Gefahrenhinweiskarte	27
Tabelle 3: Schutzzielmatrix Massenbewegungen	30
Tabelle 4: Definition Schutzziele (Legende zur Schutzzielmatrix)	31

1 Auftrag

Mit Schreiben vom 12. April 2021 wurden wir von der Abteilung Umwelt / Grundwasser, Boden und Geologie beauftragt, eine kantonale Gefahrenhinweiskarte im Bereich Massenbewegungen zu erarbeiten. Der Auftrag stützt sich auf Kapitel L1.4 des Kantonalen Richtplans.

2 Einleitung

2.1 Einleitung zur erweiterten Fassung vom 17. Februar 2023

Die Gefahrenhinweiskarte hat zum Ziel, auf mögliche, in der Zukunft stattfindende gefährliche Prozesse, im vorliegenden auf Fall Sturzereignisse und Rutschungen hinzuweisen. Grundlage dieser Hinweise sind eine Analyse früherer Ereignisse, das Herausarbeiten der Ursachen und der Voraussetzungen sowie eine Übertragung der Erkenntnisse auf das gesamte Untersuchungsgebiet, hier den Kanton Aargau. Wenn diese nach einheitlichen Grundsätzen modellierten Gefahrenhinweisgebiete alle bislang bekannten Ereignisse umfassen, bestätigt dies die Methodik. Eine objektive Überprüfung ist das allerdings nicht, da ja gerade diese früheren Ereignisse eine Grundlage für die Festlegung der Modellierungsparameter darstellen. Eine kursorische Verifizierung der Gefahrenhinweisgebiete im Feld (eine generelle Verifizierung ist allein wegen des Umfangs unmöglich), beinhaltet immer noch eine entscheidende subjektive Komponente: Ob in ausgewiesenen Gefahrengebiete tatsächlich in Zukunft einmal einer der bezeichneten Prozesse stattfinden wird und ob benachbarte, nicht ausgewiesene Gebiete von entsprechenden Ereignissen tatsächlich gefeit sind, lässt sich – ausser bei krassen Fehlmodellierungen und bei banalen Situationen – im Rahmen eines Feldbesuchs kaum abschliessend entscheiden.

Der einzige objektive Hinweis, ob eine Gefahrenhinweiskarte tatsächlich die Gebiete ausweist, die von zukünftigen Prozessen betroffen sein können, ist die Analyse der Ereignisse, die nach der Erstellung der Gefahrenhinweiskarte stattgefunden haben. Seit dem Abschluss der Modellierungen im Herbst 2021 sind der zuständigen Fachstelle in der Abteilung für Umwelt 25 Ereignisse aus den Jahre 2020 bis 2023 gemeldet geworden. Diese werden im neu dem Bericht angefügten Kapitel 7.2 analysiert.

Gemäss den Vorgaben des Bundes ist die Gefährdungssituation dort, wo sich aufgrund der Gefahrenhinweiskarte potenziellen Prozessgebiete und Schutzgüter überschneiden, im Nutzungsplan- oder im Baubewilligungsverfahren genauer abzuklären. Wo nötig sind darauf basierend Massnahmen zur Gefahrenminderung festzulegen. Im neu erstellten Kapitel 7.3 werden ein zweckmässiger Verfahrensablauf skizziert und im Kapitel 7.4 die zur Ermittlung des Handlungsbedarfs essenzielle Schutzzielmatrix vorgestellt.

2.2 Einleitung zur ursprünglichen Fassung vom 17. Februar 2022

Die Massenbewegungen, Thema dieser Karte, umfassen den "geologischen" Teil der gravitativen, d.h. zu einem entscheidenden Teil durch die Schwerkraft ausgelöste und in ihrer Ausbreitung beeinflussten Prozesse. Die Massenbewegungen werden weiter in Sturz (Steinschlag, Blockschlag), spontane Rutschungen und Hangmuren, permanente Rutschungen sowie Erdfall und Einsturz (insbesondere Dolinenbildung) unterteilt.

Gefahrenhinweiskarten zeigen an, wo zukünftig Schaden-Ereignisse auftreten können. Sie machen keine Aussage, wie wahrscheinlich solche Ereignisse sind und mit welcher Intensität sie auftreten können. Idealerweise werden Gefahrenhinweiskarten über das gesamte Kantonsgebiet erstellt (BAFU 2016). Dort wo sie Konflikte mit bestehenden oder geplanten Nutzungen aufzeigen, können bei Bedarf in einem späteren

Schritt Gefahrenkarten erstellt werden, die über die Eintretenswahrscheinlichkeit (oder Periodizität) und Intensität Auskunft geben.

Das Ziel, das gesamte Kantonsgebiet abzudecken, erfordert einen automatisierten Ansatz. Die Automatisierung kann dabei sowohl die Festlegung der Startgebiete (je nach Prozess als Ausbruch- oder Anrissgebiete bezeichnet) wie auch die Simulation des Prozesses, also die Ermittlung der Transit- und Ablagegebiete umfassen. Schliesslich können die für die Prozesssimulation notwendigen Kennwerte ebenfalls über automatisierte Prozesse ermittelt werden.

Die Gefahrenhinweiskarten der meisten Schweizer Kantone wurden vor rund 15 bis 25 Jahren erarbeitet. Die späte Erstellung der Aargauer Gefahrenkarte Massenbewegungen bot die Chance, von den Erfahrungen bei der Erarbeitung und Umsetzung der Karten der anderen Kantone zu profitieren und zu versuchen, ein optimiertes Produkt zu erstellen.

Bei früheren Gefahrenhinweiskarten wurde oft bemängelt, dass sie zu grosse (und trotzdem die falschen) Gebiete als gefährdet bezeichnen. Dies hatte verschiedene Ursachen. So wurde früher bei der Sturzmodellierung zur Ermittlung der Startgebiete meist auf die Felszeichnungen auf der Landeskarte 1:25'000 zurückgegriffen. Mit den heutigen hochauflösenden Geländemodellen kann gezeigt werden, dass diese Signaturen eher dekorativen Charakter haben. Sie stellen meist die tatsächlich vorhandenen Felswände weder vollständig noch korrekt dar. Das Hauptproblem der früheren Gefahrenkarten war allerdings, dass auf einem reinen Modellansatz beharrt wurde und dass versucht wurde, erkannte Falschaussagen einer ersten Fassung allein mit "Schrauben" an den Parametern zu beheben. Tendenziell lief dies meist darauf hinaus, dass die Startgebiete ausgedehnt und die Reichweite von Prozessen vergrössert wurden.

Weiter fand die modellbedingte Rasterung der Prozessflächen, um den Modellcharakter zu betonen, Eingang in die finalen Gefahrenkarten. Insbesondere dort, wo grobe Rasterungen vorlagen, wurde dies von Verantwortlichen aus dem Planungs- und Baubewilligungsbereich, welche schliesslich die Gefahrenkarten umsetzen mussten, oft nicht verstanden. Probleme boten insbesondere die sägezahnartigen Grenzen, die den Eindruck hinterliessen, dass benachbarte Bauten eher zufällig im oder ausserhalb des Gefahrenbereichs liegen.

Bei der Erarbeitung der Aargauer Gefahrenhinweiskarte Massenbewegungen wurden deshalb in verschiedenen Bereichen neue Wege eingeschlagen. Der wichtigste ist, dass die Modellierung hier als Hilfsmittel betrachtet wurde. Sowohl die Festlegung der Startgebiete wie auch die modellierten Prozessgebiete wurden in zwei zwischen- bzw. nachgeschalteten Expertenschritten plausibilisiert und wo nötig und angebracht modifiziert. Dafür wurden jeweils alle verfügbaren Grundlagen, vom Ereigniskataster über geologische Karten und geschummerte Geländemodelle bis hin zu früheren Drittmodellierungen beigezogen. Die definitive Festlegung der Gefahrengebiete erfolgte bei der abschliessenden Digitalisierung. Dabei wurde ein Referenzmassstab von etwa 1:10'000 avisiert. Dies im Hinblick, dass die Gefahrenhinweiskarte überall dort, wo keine Gefahrenkarten ausgearbeitet wurden, als verlässliche und verständliche Grundlage insbesondere für Planungen und Baubewilligungsverfahren dienen kann.

3 Prozess Sturz

3.1 Dokumentation der verwendeten Ausgangsdaten

- Hochauflösendes Geländemodell (DTM, 0.5 m-Raster; agis Datensatznummer 4188, in Kacheln)
- Ereigniskataster inkl. Prozessgebiete (agis Datensatznummern 5796 und 5800)
- Geologischer Atlas, digital (GeoCover) und als Bild (TIFF) (swisstopo WMS und Download)
- Luftbilder (Bund und Kanton Aargau, WMS)
- SilvaProtect-CH-CH (2013): Trajektorien Sturz modelliert mit dem Modell Geotest/Zinggeler (BAFU)

3.2 Beschreibung der Datenaufbereitung

Zusammenfügen der Geländemodell-Kacheln

Berechnung der Neigung pro 0.5 m-Rasterzelle (in Grad)

3.3 Festlegung der Prozessquellen und erster Expertenschritt

Nach Auswertung des Ereigniskatasters und Analyse der kartierten Schuttfächer wurden in einer ersten Annäherung alle Rasterzellen mit einer Hangneigung $\geq 55^\circ$ als Prozessquelle festgelegt.

Nach einer ersten Triage (Abbildung 1) wurden die Modellierungsgrundlagen nur dort extrahiert, wo aufgrund des Geologischen Atlas auch Sturzprozesse zu erwarten sind. Dabei musste der mögliche Prozessbereich grob abgeschätzt werden, so dass die Extrahierten Polygone das Start-, Transit- und Ablagerungsgebiet umfasst. Ausgeschlossen wurden so insbesondere Siedlungsgebiete im Flachland, wo das Geländemodell aufgrund der rechnerischen Elimination der Gebäude viele Artefakte, d.h. Zellen mit einer Neigung $\geq 55^\circ$ enthält. Innerhalb der Modellierungspolygone wurde auf eine weitere Bereinigung verzichtet. Das heisst, auch wahrscheinliche Artefakte wurden als Prozessquellen verwendet.

Nicht als Prozessquellen betrachtet wurden Steilwände innerhalb des Perimeters von aktuell bewilligten Materialabbaustellen.

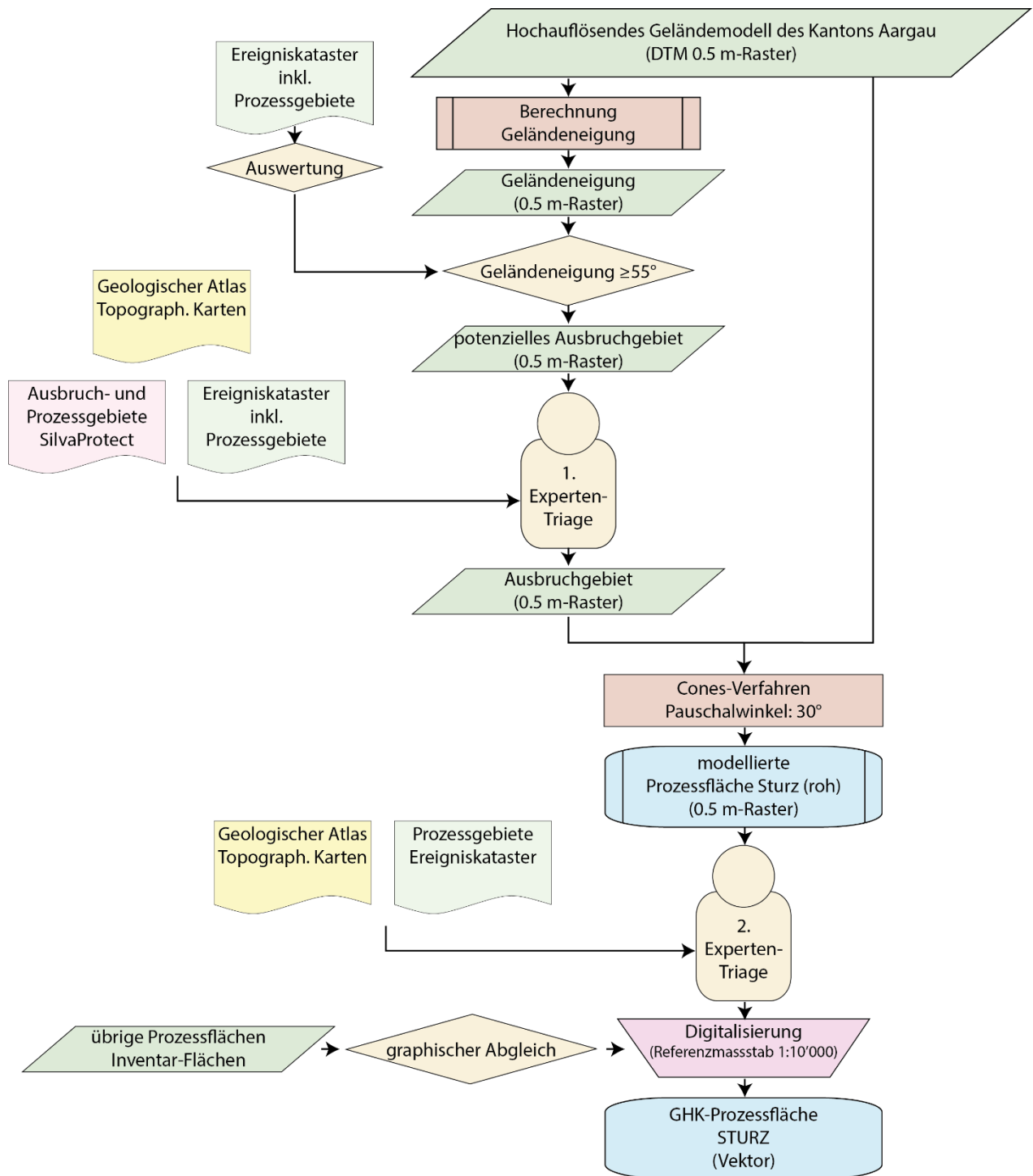


Abbildung 1: Ablaufschema Erarbeitung Prozessgebiet Sturz

3.4 Beschreibung der Modellierung

Die Modellierung erfolgte nach der Pauschalwinkelmethode (Gerber 1994, Abbildung 2) mit der Applikation Conefall 1.0 (Jaboyedoff 2003; Abbildung 3). In diesem Modellansatz werden Blockmasse, Blockform und Beschaffenheit des Untergrundes (Dämpfung) nicht berücksichtigt. Es ist ein "worst case"-Ansatz, wie er für Gefahrenhinweiskarten verlangt wird.

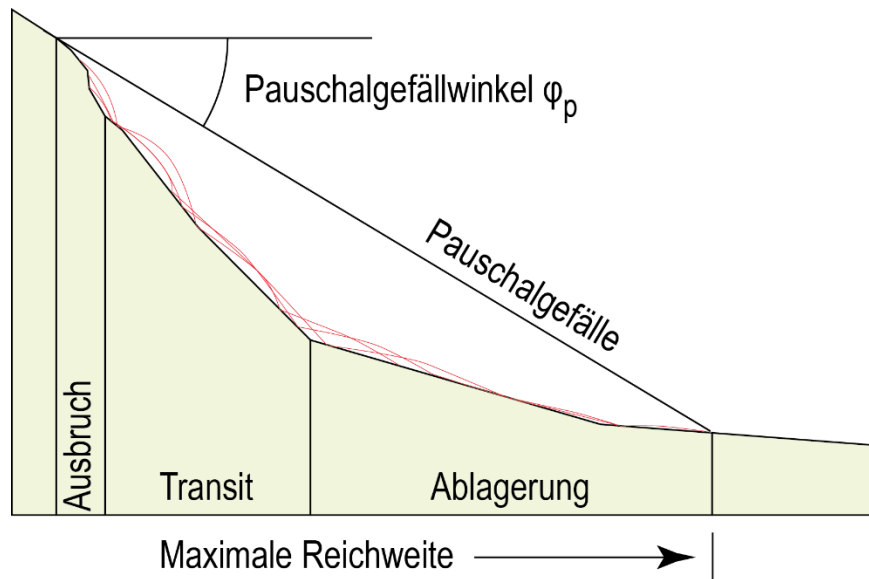


Abbildung 2: Prinzip Pauschalgefälle nach Gerber (1994, modifiziert) in zwei Dimensionen, rot: Sturz-Trajektorien

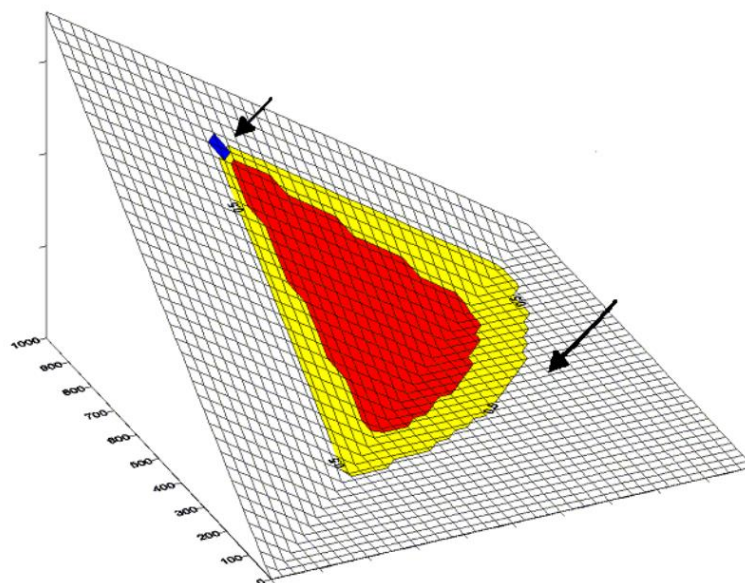


Abbildung 3: Pauschalgefälle (Konus) für zwei Winkel (kleiner gelb, grösser rot) in drei Dimensionen (aus Jaboyedoff 2003), blau: Startrasterzellen

Die Analyse der im Ereigniskataster erfassten Sturzereignisse ergab, dass ein Pauschalwinkel von 31° alle Ereignisse abbildet. Dieser Winkel liegt am unteren Ende der Erfahrungswerte (27° bis 38° , z.B. Buwal 1998, Jaboyedoff 2003, Stadlin 2020). Testläufe mit diesem konservativen Ansatz zeigten durchwegs plausible und dort, wo realistische SilvaProtect-CH-CH-Daten vorliegen (Diskussion Problematik Felszeichnung als Startgebiet, siehe Kapitel 2), durchwegs vergleichbare Resultate (Abbildung 4). Da das vorliegende Konzept

ohnehin eine individuelle Überprüfung und Plausibilisierung der Resultate vorsah (siehe unten), wurde die Modellierung mit einem Pauschalwinkel von 31° durchgeführt.

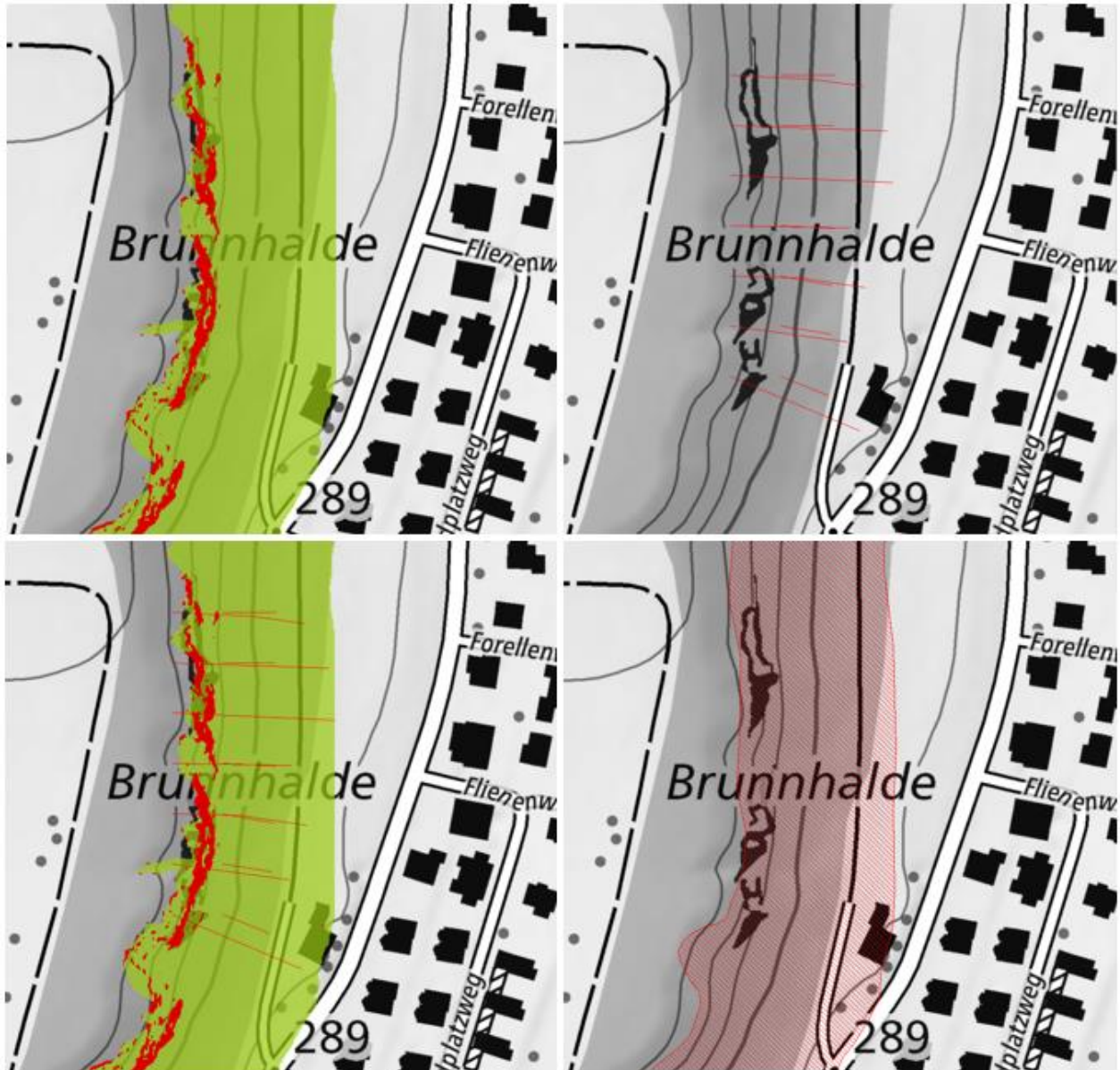


Abbildung 4: Modellierung Sturz an der Brunnhalde in Wallbach

Links oben Start- (rot) sowie Transit- und Ablagerungsgebiet modelliert mit Conefall (Jaboyedoff 2003); rechts oben: Trajektorien der SilvaProtect-CH-CH-Modellierung; links unten: Vergleich der beiden Modellierungen; rechts unten: digitalisiertes Gefahrenhinweisgebiet Sturz.

Aufgrund der kleinen Rastergrösse (0.5 m) konnten jeweils nur kleine Bereiche modelliert werden. Insgesamt wurden je 1'494 kongruente Kacheln (Rechtecke) aus dem Quellenraster (Startgebiete) und dem hochauflösenden Geländemodell und der Modellierung zugeführt. Die Modellierung erfolgte ab jedem einzelnen Startpunkt (Rasterzelle), bei zusammenhängenden Gebieten ab jeder randlichen Rasterzelle (Abbildung 5).



Abbildung 5: Ersatz einer gerasterten Ausbruchfläche durch die begrenzenden Rasterzellen als Startpunkte für die Conefall-Modellierung (aus Jaboyedoff 2003, modifiziert).

3.5 Zweiter Expertenschritt

Das modellierte Prozessgebiet wurde individuell überprüft und im Referenzmassstab 1:10'000 digitalisiert (Abbildung 1). Bei diesem Expertenschritt wurde nochmals die Frage nach Plausibilität und möglichen Artefakten gestellt. Als Grundlage dienten der Ereigniskataster mitsamt Prozessgebieten, die SilvaProtect-CH-Trajektorien (Losey 2013), der Geologische Atlas sowie Luftbilder. Die zweite Triage umfasste insbesondere folgende Schritte:

Verifikation der Ausbruchstellen (Startgebiete). Anhand des geologischen Atlas' wurde überprüft, ob es Hinweise gibt, dass an der betreffenden Steilstufe tatsächlich Steine oder Blöcke ausbrechen können. Neben den klassischen Felswandbildner wie Hauptrogenstein oder Villigen-Formation kommen hier auch Kalkbänder in ansonsten überwiegend mergeligen Formationen, Nagelfluhbänder in der Molasse und in den eiszeitlichen Lockergesteinen in Frage. In Bacheinschnitten und entlang der Steilufer der grossen Flüsse ist auch Steinschlag aus Schotter und Moränen möglich.

Nicht als Ausbruchstellen (Startgebiete) von natürlichen Sturzprozessen betrachtet wurden, wie bereits bei der ersten Triage erwähnt, Steilwände innerhalb des Perimeters bewilligter Rohstoff-Abbaustellen (Kalk, Ton, Kies etc.). Demgegenüber wurden Steilstufen in verlassenen Abbaustellen als mögliche Ausbruchstellen betrachtet.

Geländeanschnitte, insbesondere entlang Strassen wurden dort als Ausbruchgebiete (Startgebiete) übernommen, wo sie offensichtlich permanenter Natur sind, eine gewisse Grösse haben oder bereits durch Schadenereignisse aktenkundig sind. Nicht berücksichtigt wurden Baugruben. Ebenfalls ignoriert wurden artefaktische Steilstufen, die auf die rechnerische Elimination der Gebäude bei der Umrechnung des Radars (Lidar-) Bildes (DOM, digitales Oberflächenmodell) in das digitale Gelände- oder Terrainmodell (TOM) zurückzuführen sind.

Nicht berücksichtigt wurden schliesslich alle Prozessgebiete, die von isolierten Einzelzellen oder von wenigen isolierten Zellen hervorgehen. Diese Kleinststartgebiete von einem Viertel bis wenige Quadratmeter wurden als Modellartefakte betrachtet.

Das modellierte Transit- und Ablagerungsgebiet wurde mit dem Ereigniskataster und insbesondere mit den dort erfassten Prozessräumen verglichen. Ein weiterer Abgleich erfolgte mit den SilvaProtect-CH-Trajektorien (Losey 2013). Ein Überspringen der Talachse und Ablagerungen am Gegenhang wurden als möglich erachtet. Zu Schutzbauten (Netze, Wände) lagen keine Angaben vor. Berücksichtigt wurden somit nur Schutzbauten, die sich im Geländemodell manifestieren, namentlich Schutzwälle. Bei geschlossener Überbauung wurde der Prozessbereich meist nur bis etwa zur Mitte der ersten Häuserreihen und Grossbauten gezogen. Bei lockerer Überbauung oder in steiler Lage, wo ein Überspringen der Gebäude nicht ausgeschlossen werden kann, wurde das Rückhaltepotenzial von Gebäuden ignoriert.

Oft gibt es Übergänge oder Kombinationen zwischen Sturz- und Rutschprozessen. Dort wo aufgrund der Topographie und der Geologie der Sturzanteil bedeutend sein kann, werden beide Prozesse ausgewiesen. Dort wo Sturzprozesse wahrscheinlich eher untergeordnet auftreten, wurde auf die Erfassung des Sturz-Prozessraumes verzichtet, sofern dieser vollständig im Prozessraum der spontanen Rutschungen und Hangmuren liegt.

Bei der Digitalisierung wurden die Prozessgebiete der übrigen Prozesse berücksichtigt (gemeinsame Grenze oder klare Überlappung). Die Digitalisierung bezieht sich auf die Kartographie der Landeskarte. Wo nötig, wurde kartographisch überzeichnet. Beispielsweise wurde die Begrenzung des Prozessgebietes so gezogen, dass klar ist, ob der Sturzprozess eine Strasse erreicht oder nicht.

3.6 Beschreibung des Prozessraum-Datensatzes Sturz (Gefahrenhinweise)

Der Datensatz umfasst 2'602 Einzelflächen mit einer Grösse von 34 m² (alter Hohlweg beim Hölzliweg in Rombach, ein dokumentiertes Ereignis) bis 0.8 km². (Gebiet Langhalde - Schlossberg Besserstein - Ampfleten ob Villigen mit vier dokumentierten Ereignissen). Insgesamt werden 28.82 km² oder 2.1% der Kantonsfläche als potenziell vom Prozess Sturz betroffen betrachtet (für weitere statistische Angaben siehe Kapitel 7).

Die einzelnen Flächen verfügen über eine eindeutige Identifikationsnummer (SSTURZ_ID). Weitere fachliche Attribute bestehen nicht.

3.7 Anwendungsmöglichkeiten und Vorbehalte

Die Hinweiskarte Sturz stellt mögliche Prozessräume dar. Sie macht keine Aussage zur Wahrscheinlichkeit oder Intensität (Energie, Sprunghöhe) möglicher Ereignisse.

Die Hinweiskarte Sturz weist einen hohen Detaillierungsgrad auf und stellt auch Prozessräume von Kleinstausbruchstellen dar, welche erfahrungsgemäss für einen erheblicher Anteil der gemeldeten Schäden verantwortlich sind. Sie ist somit ausserhalb der Bauzonen ein ideales, auf längerfristige Nutzung ausgelegtes Entscheidungsinstrument, sei es zur Erkennung und Meidung von Gefahrengebieten oder zur Festlegung, wo weitere Abklärungen betreffend Sturzgefährdung gemacht werden müssen. Weiter zeigt sie auf, wo Verklausungen durch Sturzprozesse möglich sind.

Dort wo die Hinweiskarte Sturz eine mögliche Gefährdung von Siedlungen insbesondere innerhalb der Bauzone aufzeigt, wird dringend empfohlen, die Gefährdung im Rahmen einer Gefahrenkarte baldmöglichst genauer abzuklären und zu präzisieren.

4 Prozess spontaner Rutsch / Hangmuren

4.1 Dokumentation der verwendeten Ausgangsdaten (Herkunft, Qualität)

- Hochauflösendes Geländemodell (DTM, 0.5 m-Raster; agis Datensatznummer 4188, in Kacheln)
- Ereigniskataster inkl. Prozessgebiete (agis Datensatznummern 5796 und 5799)
- Geologischer Atlas, digital (GeoCover) und als Bild (TIFF) (swisstopo WMS und Download)
- Luftbilder (Bund und Kanton Aargau, WMS)
- SilvaProtect-CH-CH (2013): Trajektorien Hangmuren modelliert mit dem Modell Geotest/Zinggeler (BAFU)

4.2 Beschreibung der Datenaufbereitung

Zusammenfügen der Geländemodell-Kacheln

Schummerung (Hillshade) mit verschiedenen Beleuchtungsrichtungen (0.5 m-Raster)

Generalisierung des Geländemodells in 10 m-Raster

Berechnung der Neigung pro 10 m-Rasterzelle (in Grad)

Umrechnung GeoCover (Auswahl Dolomit- und Kalkstein) in 10 m-Raster

4.3 Festlegung der Prozessquellen und erster Expertenschritt

Nach Auswertung des Ereigniskatasters und Analyse der kartierten Schuttfächer (Abbildung 6) wurden in einer ersten Annäherung alle Rasterzellen mit einer Hangneigung $\geq 18^\circ$ und $\leq 60^\circ$ als Prozessquelle festgelegt.

Die Analyse von Ereigniskataster und Geologischem Atlas ergab, dass eigentlich nur Formationen und Schichtglieder als Startgebiete (Anrissgebiete) von Rutschungen ausgeschlossen werden können, die ganzheitlich und über das gesamte Verbreitungsgebiet aus Dolomit- oder Kalkstein bestehen. Weiter neigen Schotter der Hoch- und Niederterrasse nur bei speziellen Konfigurationen, nämlich an unterspülten Flussborden zu Rutschungen. Das Verbreitungsgebiet von Dolomit- oder Kalkstein sowie Hoch- und Niederterrasse-Schotter wurden rechnerisch aus dem Startdatensatz eliminiert. Die möglichen Rutschungen an Flussborden wurden später, im Digitalisierungsschritt (siehe unten), individuell zwischen den potenziellen Abrisskanten und dem Flussufer ergänzt.

Durch die Generalisierung in einen 10 m-Raster wurden viele aber nicht alle Artefakte, wie sie vom 0.5 m-Raster beschrieben wurden (siehe Kapitel Sturz), beseitigt. Die verbleibenden Artefakte wurden in diesem Schritt nicht eliminiert.

Nicht als Prozessquellen betrachtet wurden Steilwände innerhalb des Perimeters von Steinbrüchen und anderen Materialabbaustellen mit aktueller Bewilligung.

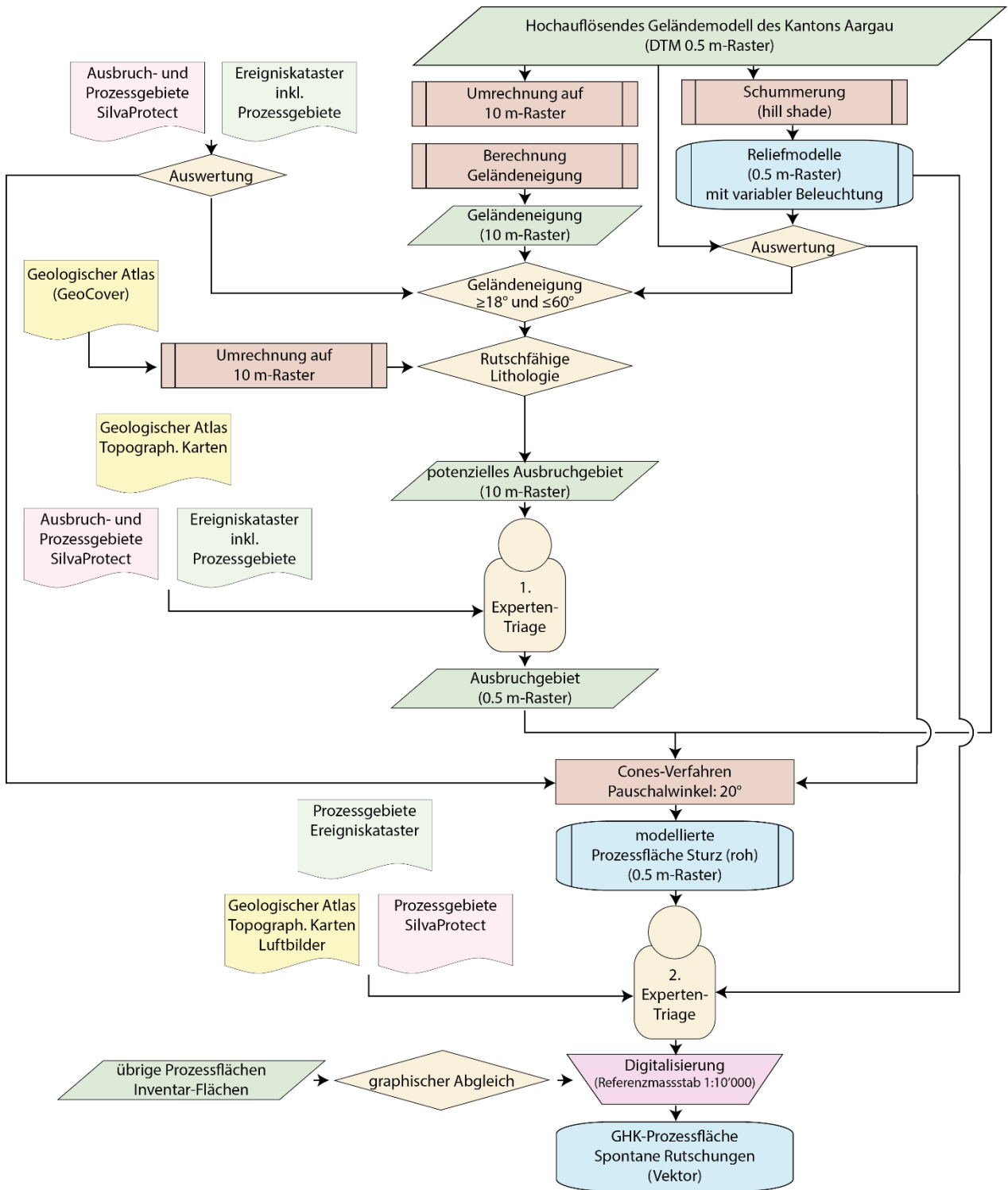


Abbildung 6: Ablaufschema Erarbeitung Prozessgebiet spontane Rutschungen und Hangmuren

4.4 Beschreibung der Modellierung

Das Prozessgebiet wurde mit der Pauschalwinkelmethode (Gerber 1994) ermittelt (Abbildung 2). Die Analyse des Ereigniskatasters ergab einen Winkel von 20° für Spontanrutschungen und 18° für Hangmuren.

Vergleiche mit den Trajektorien von SilvaProtect-CH-CH die SilvaProtect-CH-Trajektorien (Losey 2013) zeigen bei vergleichbaren Grundannahmen eine gute Übereinstimmung (Abbildung 7). Weiter wurde das Gebiet von permanenten Rutschungen (siehe unten) als Startgebiet betrachtet. Die Modellierung wurde mit dem Programm Conefall 1.0 (Jaboyedoff 2003) durchgeführt auf der Basis des generalisierten 10 m-Raster Geländemodells.

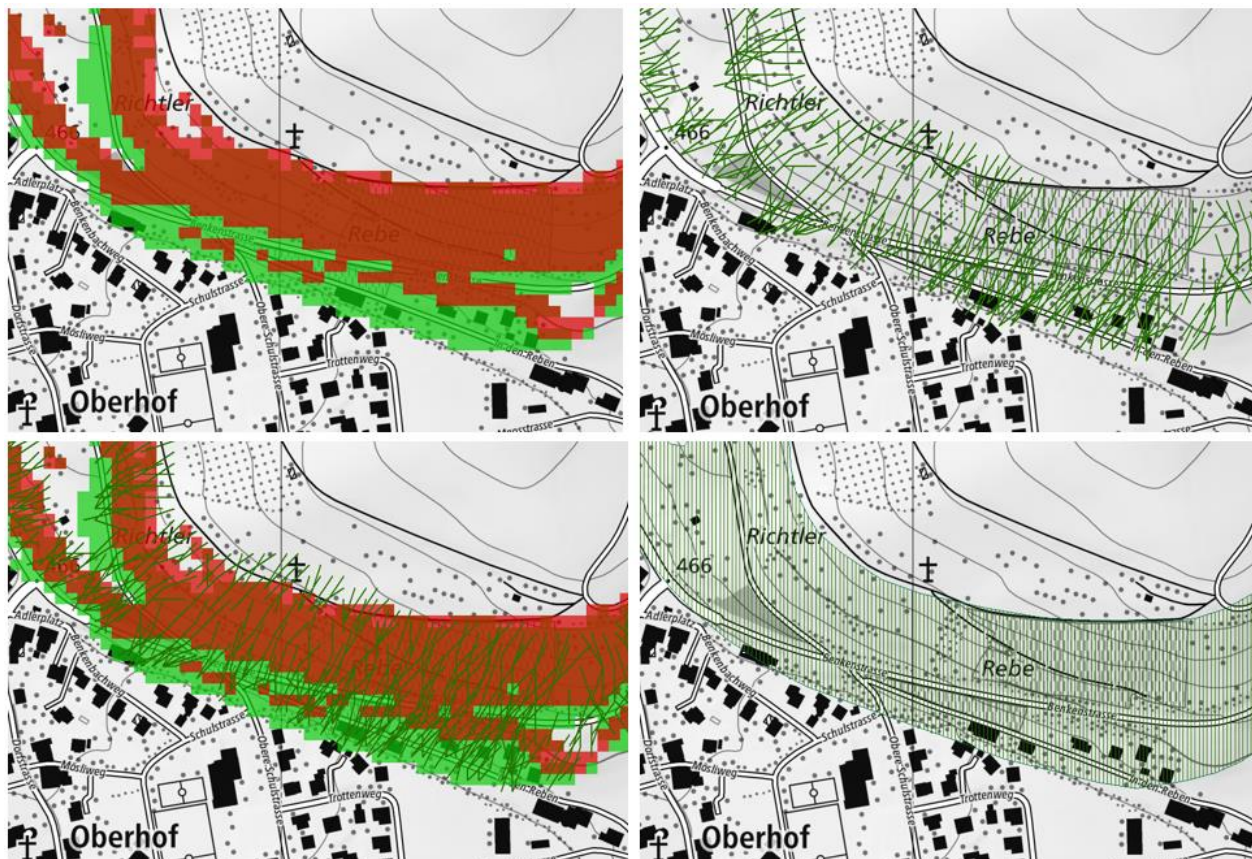


Abbildung 7: Modellierung spontane Rutschung im Gebiet Rebe in Oberhof:

Links oben Start- (rot) sowie Transit und Ablagerungsgebiet modelliert mit Conefall (Jaboyedoff 2003); rechts oben: Trajektorien der SilvaProtect-CH-CH-Modellierung; links unten: Vergleich der beiden Modellierungen; rechts unten: digitalisiertes Gefahrenhinweisgebiet spontane Rutschung / Hangmure.

4.5 Zweiter Expertenschritt

Das modellierte Prozessgebiet wurde individuell überprüft und im Referenzmassstab 1:10'000 digitalisiert (Abbildung 6). Bei diesem Expertenschritt wurde nochmals die Frage nach Plausibilität und möglichen Artefakten gestellt. Als Grundlage dienten der Ereigniskataster mitsamt Prozessgebieten, die SilvaProtect-CH-Trajektorien (Losey 2013), der Geologische Atlas sowie Luftbilder. Die zweite Triage umfasste insbesondere folgende Schritte:

Verifikation der Abrissstellen (Startgebiete). Anhand des geologischen Atlas', des Ereigniskatasters und der geschummerten Geländemodelle wurde überprüft, ob es Hinweise gibt, dass an den betreffenden Stellen tatsächlich spontane Rutschungen oder Hangmuren stattfinden. Dabei zeigte sich, dass kaum eine kartierte geologische Einheit über das gesamte Kantonsgebiet eine einheitliche Neigung zu Rutschungen zeigt. So neigen beispielsweise Verwitterungsschichten über Opalinuston meist, aber nicht immer, Moränen dagegen selten, lokal aber durchaus zu Rutschungen.

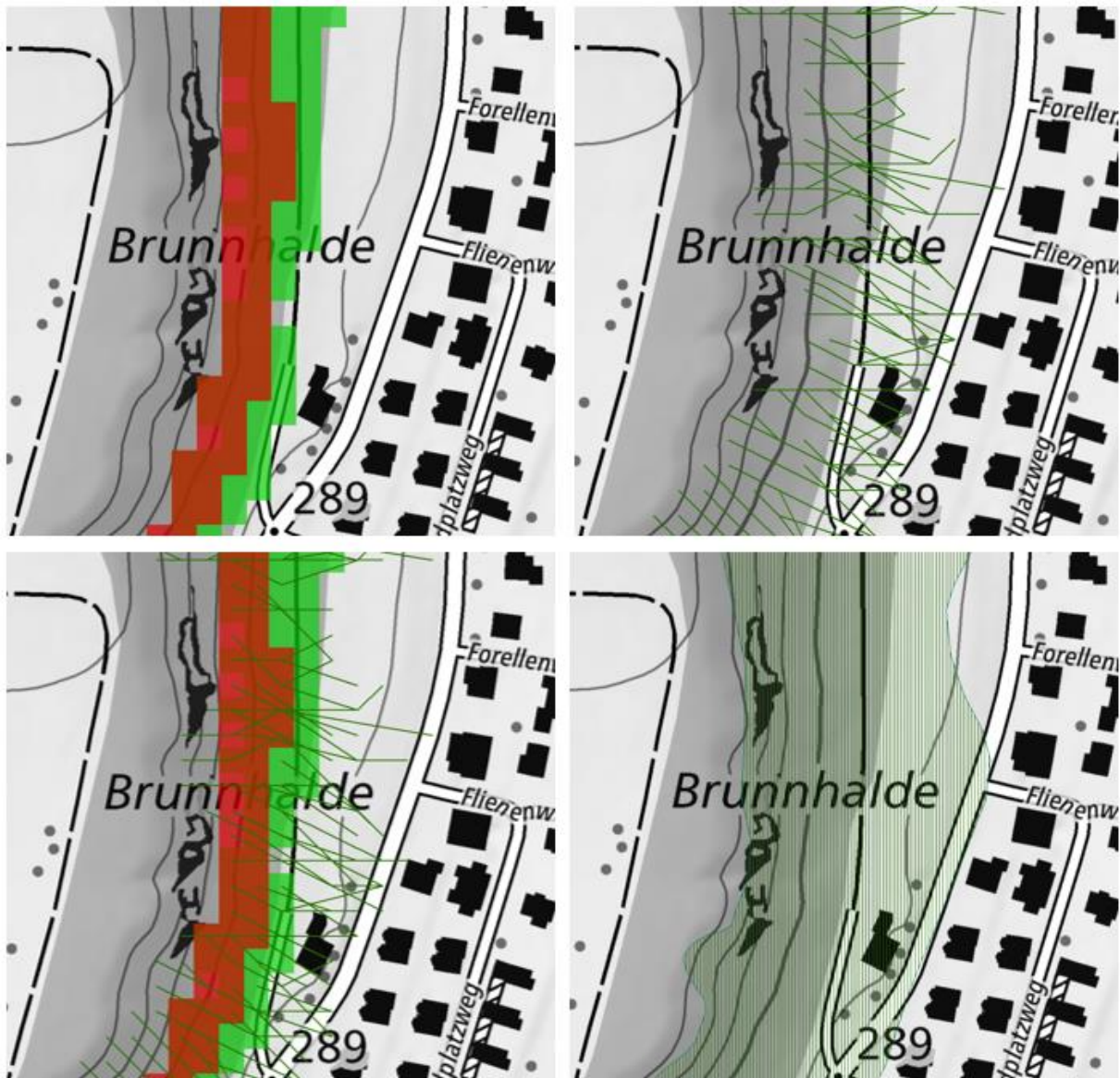


Abbildung 8: Modellierung spontane Rutschung und Hangmure an der Brunnhalde in Wallbach (vgl. Abbildung 7 für Erläuterung Teilabbildungen):

Die SilvaProtect-CH-Modellierung geht hier von Hangmuren aus. Mit der Applikation Conefall wurden Rutschungen modelliert. Bei der Digitalisierung der Gefahrenhinweisfläche wurde hier aufgrund von Hinweisen aus der Umgebung der Hangmuren-Variante der Vorzug gegeben. Hangaufwärts (nach links) wurde die Fläche bis zur Begrenzung des Hinweises Sturz gezogen (vgl. Abbildung 4).

Nicht als Abrissstellen (Startgebiete) von natürlichen spontanen Rutschungen und Hangmuren betrachtet wurden, wie bereits bei der ersten Triage erwähnt, Steilwände innerhalb des Perimeters bewilligter Rohstoff-Abbaustellen (Kalk, Ton, Kies etc.). Demgegenüber wurden Steilstufen in verlassenen Abbaustellen als mögliche Abrissgebiete betrachtet.

Geländeanschnitte, insbesondere entlang Strassen wurden dort als Abrissgebiete (Startgebiete) übernommen, wo sie offensichtlich permanenter Natur sind, eine gewisse Grösse haben oder bereits durch Ereignisse dokumentiert sind. Nicht berücksichtigt wurden Baugruben. Ebenfalls ignoriert wurden artefaktische Steilstufen, die bei der rechnerischen Elimination der Gebäude entstanden sind (DOM-TOM-Umrechnung, siehe oben, Kapitel 3.5).

Das modellierte Transit- und Ablagerungsgebiet wurde mit dem Ereigniskataster und insbesondere mit den dort erfassten Prozessräumen verglichen. Ein weiterer Abgleich erfolgte mit den SilvaProtect-CH-Trajektorien (Losey 2013).

Ein Überwinden der Talachse und von Fliessgewässern, d.h. Ablagerungen am Gegenhang oder jenseits des Gewässers wurden als unwahrscheinlich erachtet. Bei den Flüssen endet das digitalisierte Prozessgebiet am Ufer. Bei den übrigen Gewässern wurde, wo zutreffend, die mögliche Verklausung dargestellt (Ausdehnung des Prozessgebietes über die Bachsignatur hinaus).

Zu Schutzbauten (Drainagen, Vernagelungen etc.) lagen keine Angaben vor. Berücksichtigt wurden somit nur Schutzbauten, die sich im Geländemodell manifestieren, namentlich Schutzwälle.

Im Siedlungsgebiet wurde dort, wo flachgründige Rutschungen anzunehmen sind, davon ausgegangen, dass durch die Bebauung eine Stabilisierung stattgefunden hat, sofern dem nicht dokumentierte Ereignisse widersprechen. Sofern Indizien für mittel- bis tiefgründige Rutschungen oder Hangmuren vorhanden sind, wurde die potenzielle Gefahr auch im Siedlungsgebiet ausgewiesen.

Oft gibt es Übergänge oder Kombinationen zwischen Sturz- und Rutschprozessen. Dort wo aufgrund der Topographie und der Geologie der Sturzanteil bedeuten sein kann, werden beide Prozesse ausgewiesen. Dort wo Sturz wahrscheinlich eher untergeordnet auftritt, wurde ausschliesslich die potenzielle Rutschgefahr ausgewiesen.

Bei der Digitalisierung wurden die Prozessgebiete der übrigen Prozesse berücksichtigt (gemeinsame Grenze oder klare Überlappung). Die Digitalisierung bezieht sich auf die Kartographie der Landeskarte. Wo nötig, wurde kartographisch überzeichnet. Beispielsweise wurde die Begrenzung des Prozessgebietes so gezogen, dass klar ist, ob der Rutschprozess eine Strasse erreicht oder nicht.

4.6 Beschreibung des Prozessraum-Datensatzes spontane Rutschung und Hangmuren (Gefahrenhinweise)

Der Datensatz umfasst 2'214 Einzelflächen mit einer Grösse von 108 m² bis 7.2 km². Insgesamt werden 157.92 km² oder 11.3% der Kantonsfläche als potenziell rutschanfällig betrachtet (für weitere statistische Angaben siehe Kapitel 7).

Die einzelnen Flächen verfügen über eine eindeutige Identifikationsnummer (SPORU_ID).
Weitere fachliche Attribute bestehen nicht.

4.7 Anwendungsmöglichkeiten und Vorbehalte

Die Gefahrenhinweiskarte Spontanrutsch und Hangmuren stellt mögliche Prozessräume dar. Sie macht keine Aussage zur Wahrscheinlichkeit oder Intensität (Druck, Höhe, Fliessgeschwindigkeit) möglicher Ereignisse.

Gebiete zu bezeichnen, in denen sich in absehbarer Zukunft mit einiger Wahrscheinlichkeit spontane Rutschungen oder Hangmuren ereignen, ist äusserts schwierig. Weite Teile des Kantons Aargau sind grundsätzlich anfällig auf solche Prozesse. Die Auslöser können lokale, regionale (wie im Juli 2017, Zofingen - Bottenwil, 90 dokumentierte Ereignisse) oder gar über-regionale Unwetter (wie im Februar und Mai 1999, nördlicher und zentraler Kanton, 195 dokumentierte Ereignisse, grosse Dunkelziffer) sein. Auch bei grossen Unwettern finden Prozesse nur auf einem kleinen Bruchteil der exponierten Flächen statt. So liegen alle 16 im Juli 2017 in der Gemeinde Bottenwil dokumentierten Rutschungen und Hangmuren innerhalb des hier ausgewiesenen Gefahrengebietes, allerdings machen sie total weniger als 1% der innerhalb der Gemeindegrenze als gefährdet bezeichneten Fläche aus.

Die vorliegende, auf einem progressiven Ansatz beruhende Gefahrenhinweiskarte Spontanrutsch und Hangmuren stellt ein Kompromiss dar. Bei einem konservativen Ansatz wären das als gefährdet bezeichnete Gebiet deutlich grösser ausgefallen. Es ist somit möglich, dass vereinzelt, insbesondere Hangmuren sich in Ausnahmefällen über die bezeichneten Gebiete hinaus erstrecken. Weiter sind kleinere Ereignisse vollkommen ausserhalb der bezeichneten Gebiete nicht gänzlich ausgeschlossen.

Für Gebiete ausserhalb der Bauzone ist die Gefahrenhinweiskarte Spontanrutsch und Hangmuren ein auf längerfristige Nutzung ausgelegtes Entscheidungsinstrument, sei es zur Erkennung und Meidung von Gefahrengebieten oder zur Festlegung, wo weitere Abklärungen betreffend Sturzgefährdung gemacht werden müssen. Weiter zeigt sie auf, wo Verklausungen durch Rutschungen und Hangmuren möglich sind.

Dort wo die Gefahrenhinweiskarte Spontanrutsch und Hangmuren eine mögliche Gefährdung von Siedlungen insbesondere innerhalb der Bauzone aufzeigt, wird dringend empfohlen, die Gefährdung im Rahmen einer Gefahrenkarte baldmöglichst genauer abzuklären und zu präzisieren.

5 Inventar der Permanenten Rutschungen

5.1 Dokumentation der verwendeten Ausgangsdaten (Herkunft, Qualität)

- Hochauflösendes Geländemodell (DTM, 0.5 m-Raster; agis Datensatznummer 4188, in Kacheln)
- Ereigniskataster inkl. Prozessgebiete (agis Datensatznummern 5796 und 5799)
- Geologischer Atlas, digital (GeoCover) und als Bild (TIFF) (swisstopo WMS)
- aktuelle und historische Luftbilder (Bund und Kanton Aargau, WMS)
- aktuelle und historische topographische Karten (Bund und Kanton Aargau, WMS)

5.2 Beschreibung der Datenaufbereitung

Zusammenfügen der Geländemodell-Kacheln

Schummerung (Hillshade) mit verschiedenen Beleuchtungsrichtungen (0.5 m-Raster)

5.3 Festlegung der Prozessgebiete

Es werden drei Kategorien unterschieden:

- Permanente Rutschungen im engeren Sinn einschliesslich aktuell ruhende aber grundsätzlich wieder reaktivierbare Rutschungen (Abbildung 9)

Unkonsolidierte subrezente spontane Rutschungen (

- Abbildung 10)
- Felsrutschungen (Abbildung 11)

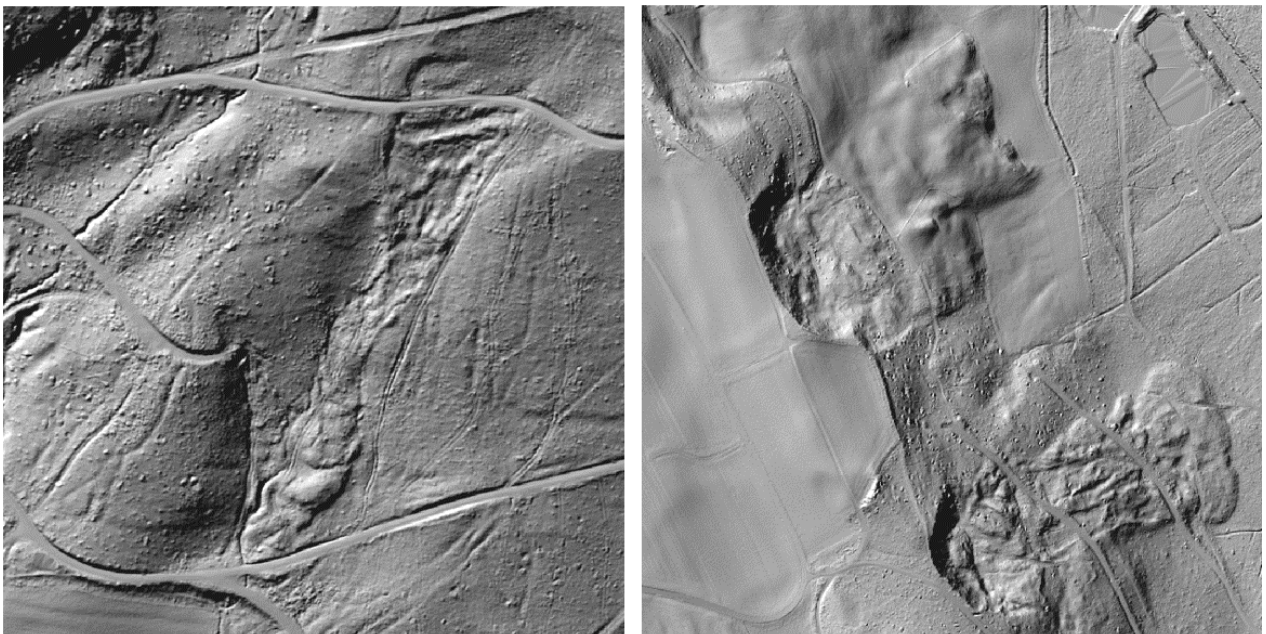


Abbildung 9: Permanente Rutschungen an Chestenberg (Gebiet Eichwald, Landesgoo. 2'657'100, 1'252'390, links) und westlich Boswil (Gemeinde Kallern, Gebiet Usserholz, Landesgoo. 2'664'050 1'238'500, rechts).

Beim nördlichen (oberen) Rutsch im Usserholzil ist die Verwischung der Strukturen im beweideten Gebiet (rechts oben) gut erkennbar, das übrige Rutschgebiet ist bewaldet.

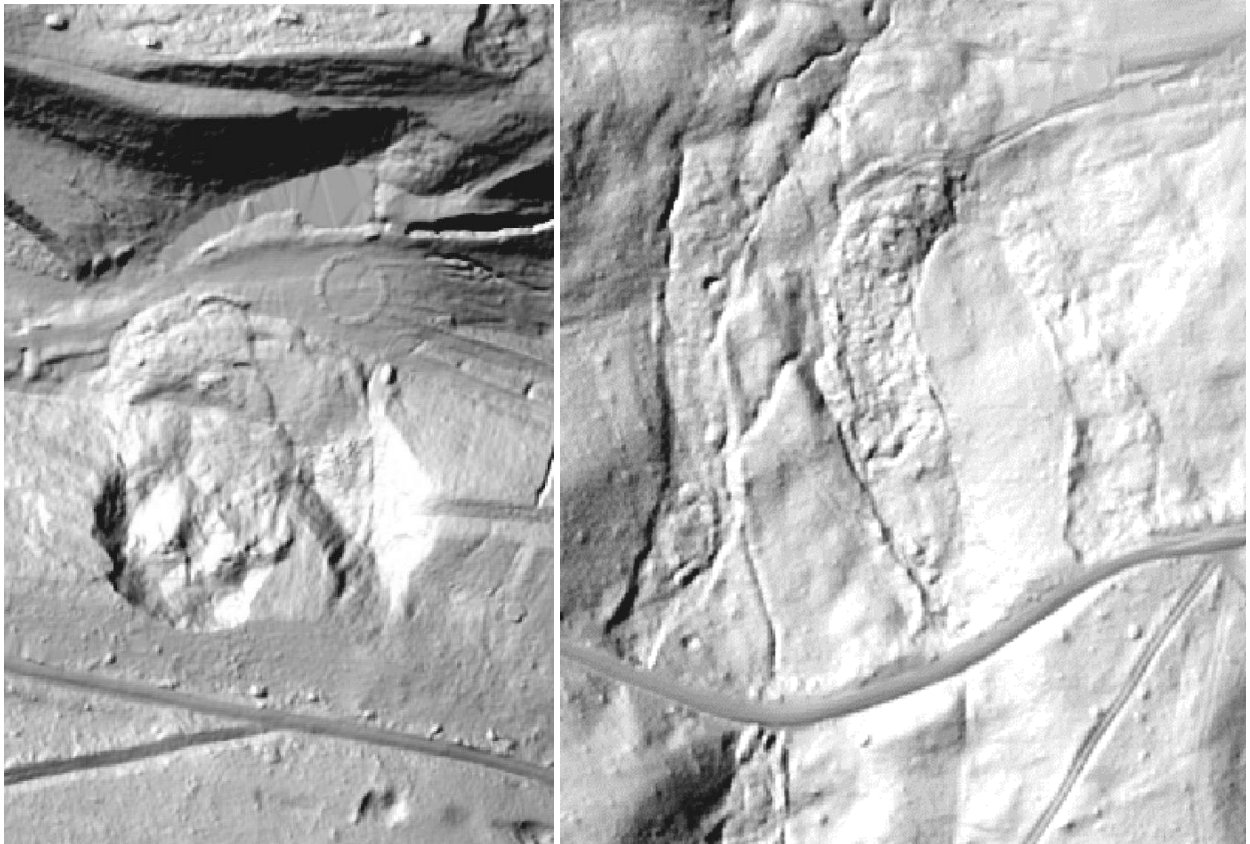


Abbildung 10: Links: Subrezenter Spontanrutsch in aufgelassene Tongrube (Schinznach Dorf, Gebiet Vorbäumlere, Landesgoo. 2'652'670, 1'256'125); rechts mehrere subrezente Rutschungen in permanentem Rutschgebiet (Chesselmatt bei Sulzberg, Landesgoo. 2'647'800, 1'264'265)

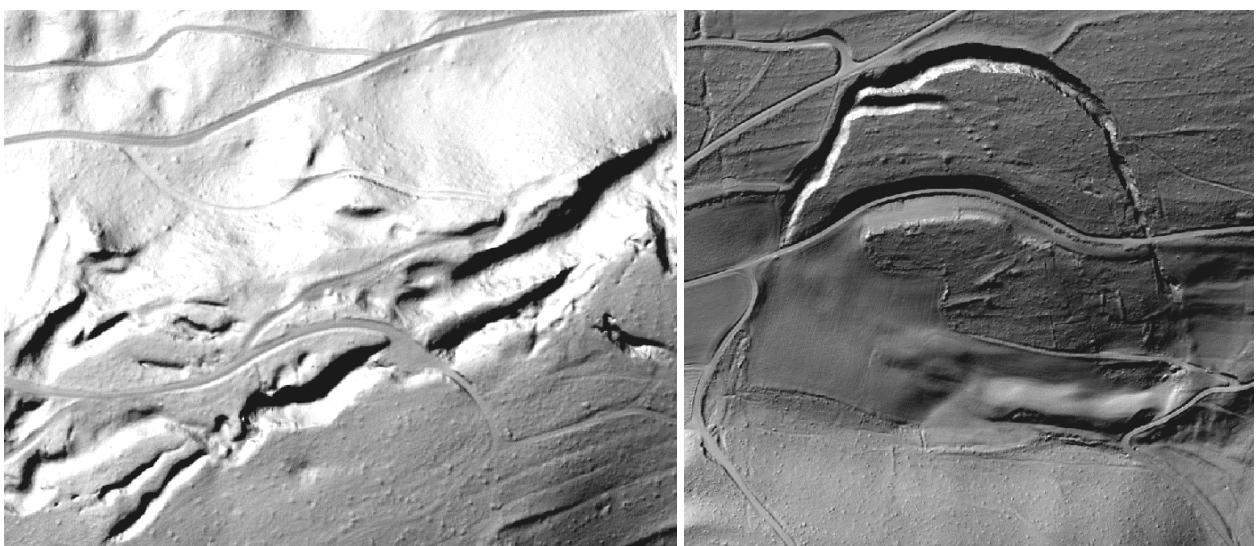


Abbildung 11: Links: Verkippen von Felsmassen im Gebiet Chinz bei Eiken (Landesgoo. 2'642'570, 1'265'270); rechts: schichtparalleles Abgleiten eines Felspakets nordwestlich Möhntal (Landesgoo. 2'651'630, 1'264'030)

Die Kartierung (Abbildung 12) erfolgte in erster Linie auf der Basis des in unterschiedlichen Richtungen schattierten hochauflösenden Geländemodells (0.5 m-Raster). Das Ereigniskataster (mitsamt Prozessgebieten) und der Geologische Atlas wurden als Hinweis verwendet. Anhand von aktuellen und historischen topographischen Karten und Luftbildern wurde versucht, subrezente Spontanrutschungen von permanenten Rutschungen zu unterscheiden. Die Unterscheidung ist nicht immer einfach. Die Übergänge sind fließend. Allerdings ist eine Unterscheidung im aktuellen Zusammenhang nicht unbedingt notwendig. Dort, wo subrezente Spontanrutschungen im hochauflösenden Geländemodell noch klar erkennbar sind, können sie als unsaniert und unkonsolidiert betrachtet werden. Das heisst, dass hier insbesondere Setzungen aber auch weitere Rutschbewegungen nicht ausgeschlossen sind. Sie sind permanenten Rutschungen also durchaus vergleichbar.

In verschiedenen Gegenden des Kantons sind tiefgründige Bewegungen im Gang. Betroffen sind sowohl Dolomit- und Kalkstein-Formationen des Juras wie Molassegestein des Mittellandes (Abbildung 11). In der Regel sind es über weicheren tonreichen Gesteinen gelegene kompakte Felspartien, die Verkippen oder Absacken. Verschiedene Indizien deuten darauf hin, dass Bewegungen im mm-Bereich pro Jahr oder Jahrzehnt üblich sind und spontan örtlich stärkere Bewegungen möglich sind. Neben örtlichen Auswirkungen, z.B. Schäden an Infrastrukturanlagen, können diese Bewegungen auch Auslöser von Blockschlag und Bergsturz sein.

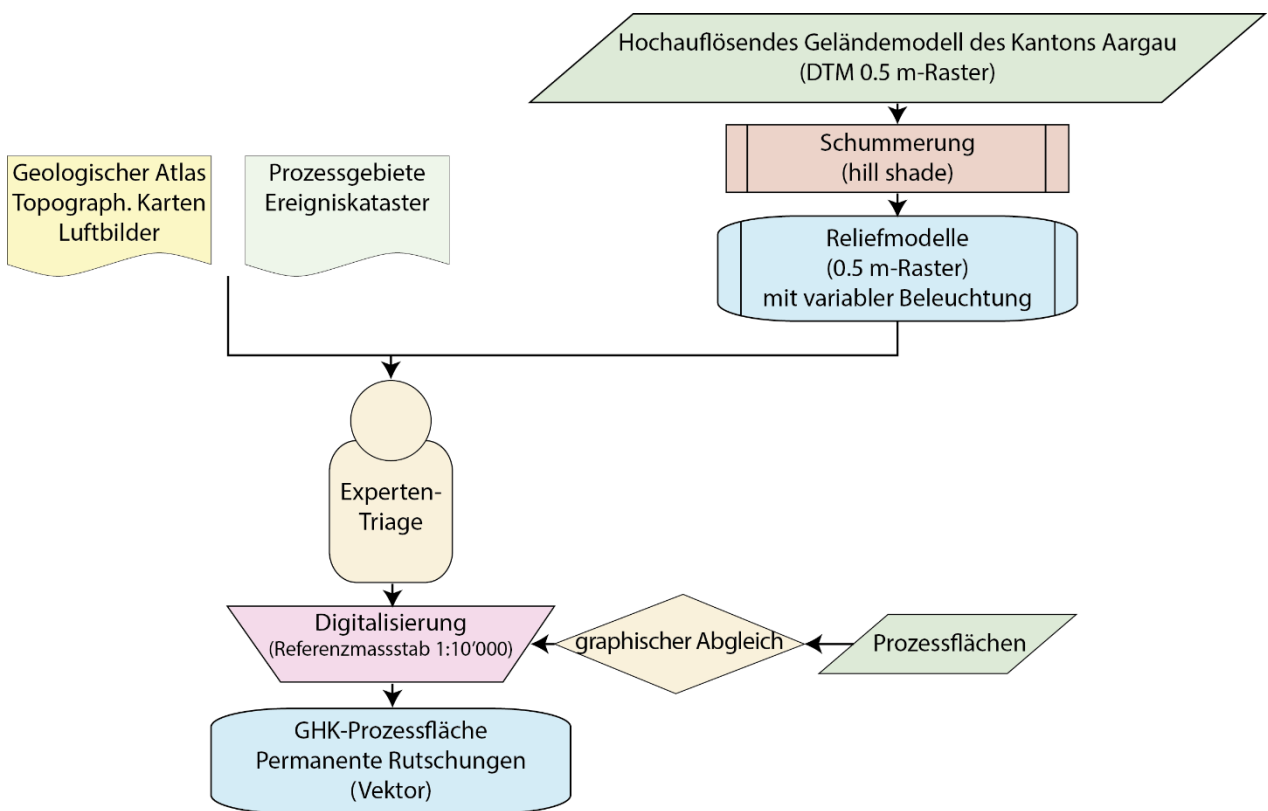


Abbildung 12: Ablaufschema der Erarbeitung des Katasters der permanenten Rutschungen

5.4 Beschreibung des Inventar-Datensatzes Permanente Rutschungen (Gefahrenhinweis)

Der Datensatz umfasst die drei Prozesse permanente Rutschungen im engeren Sinn, unkonsolidierte subrezente spontane Rutschungen und Felsrutschungen. Insgesamt wird eine Fläche von total 40.28 km² diesen drei Prozessen zugeordnet. Das sind 2.9% der Kantonsfläche (für weitere statistische Angaben siehe Kapitel 7).

Die Zuordnung erfolgt mit dem Attribut "Klasse". Die Attributwerte sind "permanent" (1'015 Flächen mit total 32.4 km²), "subrezent" (500 Flächen mit total 1.1 km²) und "Fels" (113 Flächen mit total 6.8 km²). Die Zuordnung ist ausschliessend. Das heisst beispielsweise: die Fläche einer subrezent spontanen Rutschung innerhalb eines permanenten Rutschgebiets wird nicht von dessen Fläche unterlagert (obwohl dies dem tatsächlichen Zustand entsprechen würde). Die Konfiguration wurde gewählt, um zu vermeiden, dass Flächen sich gegenseitig abdecken können.

Die Herkunft der Flächen ist im Attribut "quelle" codiert. Die Attributwerte sind 1: neu kartiert ab schattiertem hochauflösendem Geländemodell (644 Flächen mit total 3.2 km²); 2: Fläche unverändert übernommen aus Geologischem Atlas (29 Flächen mit total 1.7 km²); 3: Fläche oder Punkthinweise Rutschung ("Halbmonde") des Geologischen Atlas' anhand schattiertem hochauflösendem Geländemodell modifiziert oder umrissen (955 Flächen mit total 35.3 km²).

5.5 Anwendungsmöglichkeiten und Vorbehalte

Aufgrund der Überprüfung und Ergänzung anhand des hochauflösenden Geländemodells zeigt der Datensatz einen umfassenden, aktuellen Überblick über permanente Rutsche im weiteren Sinn. Der Datensatz macht keine Angaben, in welchen Bereichen und in welchem Grad diese Rutsche aktuell aktiv sind. Er umfasst auch permanente Rutschungen, die momentan ruhen aber grundsätzlich reaktivierbar sind. Weiter umfasst der Datensatz subrezente Rutsche, die zur Zeit der Erfassung des hochauflösenden Geländemodells weder saniert wurden noch natürlicherweise konsolidiert waren. Setzungs- und weitere Rutschbewegungen, insbesondere bei anthropogenen Eingriffen, sind hier nicht auszuschliessen.

Für Gebiete ausserhalb der Bauzone ist das Inventar der permanenten Rutschungen ein auf längerfristige Nutzung ausgelegtes Entscheidungsinstrument, sei es zur Erkennung und Meidung von Gefahrengebieten oder zur Festlegung, wo weitere Abklärungen betreffend Sturzgefährdung gemacht werden müssen. Weiter zeigt sie auf, wo Verklausungen durch Bodenbewegungen möglich sind.

Dort wo das Inventar der permanenten Rutschungen eine mögliche Gefährdung von Siedlungen insbesondere innerhalb der Bauzone aufzeigt, wird dringend empfohlen, die Gefährdung im Rahmen einer Gefahrenkarte baldmöglichst genauer abzuklären und zu präzisieren.

6 Inventar der Erdfall- und Einsturzgebiete

6.1 Dokumentation der verwendeten Ausgangsdaten (Herkunft, Qualität)

- Hochauflösendes Geländemodell (0.5 m-Raster; von GIS-Fachstelle in Kacheln geliefert)
- Ereigniskataster inkl. Prozessgebiete
- Geologischer Atlas, digital (GeoCover) und als Bild (TIFF) (WMS)
- kantonales Geotop-Inventar
- aktuelle und historische Luftbilder (Bund und Kanton Aargau, WMS)
- aktuelle und historische topographische Karten

6.2 Beschreibung der Datenaufbereitung

Zusammenfügen der Geländemodell-Kacheln

Schummerung (Hillshade) mit verschiedenen Beleuchtungsrichtungen (0.5 m-Raster)

6.3 Festlegung der Prozessgebiete

Grundsätzlich sind alle Dolomit- und Kalksteine sowie Evaporitgesteine von Erdfall- und Einsturzprozessen betroffen. Bei Dolomit- und Kalksteinen treten sie besonders häufig dort auf, wo diese mit sauren Festgesteinen in stratigraphischem oder tektonischem Kontakt stehen sowie dort, wo sie von einer nicht zu dicken Schicht von sauren Lockergesteinen überlagert werden. Das potenziell gefährdete Gebiet ist also deutlich grösser als die im Geologischen Atlas dargestellte Ausstrichfläche der kalk- und dolomitreichen Formationen. Umgekehrt zeigt die Erfahrung, dass Erdfall- und Einsturzprozesse fernab älterer Ereignisse nicht ausgeschlossen, aber sehr selten sind. Hier werden darum nur Gebiete im Umfeld bestehender Erdfall- und Einsturzobjekte als potenziell gefährdet ausgewiesen (Abbildung 13). Letztere wurden anhand des Ereigniskatasters, des Geologischen Atlas' (Signatur Doline), des kantonalen Geotops-Inventars (Dolinen), Aufzeichnungen im Firmenarchiv sowie einer Auswertung des geschumمرتeten hochauflösenden Geländemodells lokalisiert (Abbildung 14).

Verkarstung und Subrosion in Evaporitgesteinen, d.h. Salz, Anhydrit und Gips, manifestiert sich im Kanton Aargau meist in Verbindung mit Karst in Dolomit- und Kalkgesteinen. Am Hochrhein werden Steinsalz, Anhydrit und Gips der Zeglingen-Formation unter Tag gelöst (Subrosion) und der kalkig-dolomitische Deckel aus Schinznach-Formation senkt sich oder bricht in Form von Dolinen nach. Karst direkt im Gips und Anhydrit der Bänkerjoch-Formation findet sich örtlich in einem Streifen von Wegenstetten über Schupfart nach Kaisten. Dass auch Gipskarst zu namhaften Problemen führen kann, zeigt der Tagbruch des Umfahrungstunnels von Sissach im angrenzenden Kanton Basel-Land.

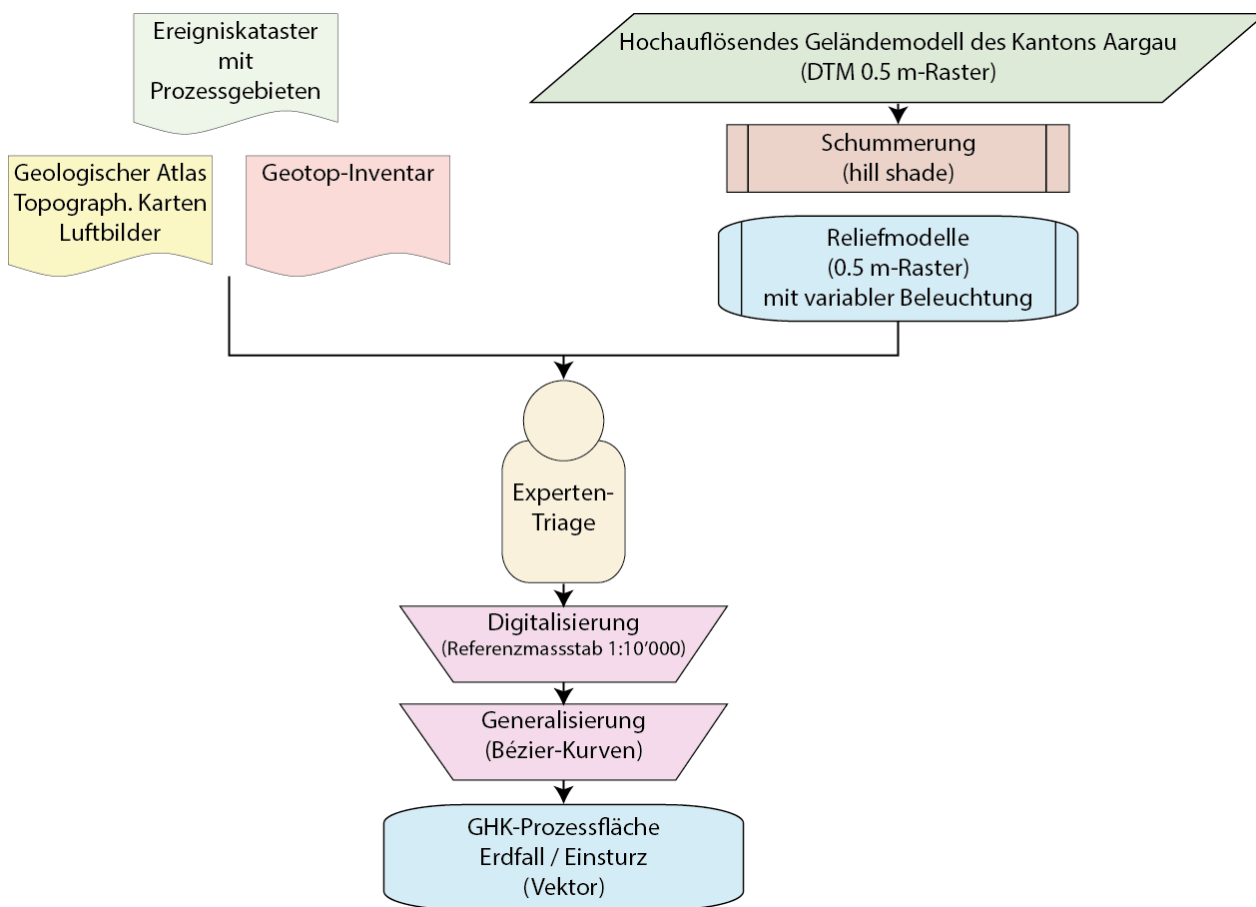


Abbildung 13: Ablaufschema der Erarbeitung des Prozessgebietes Erdfall / Einsturz

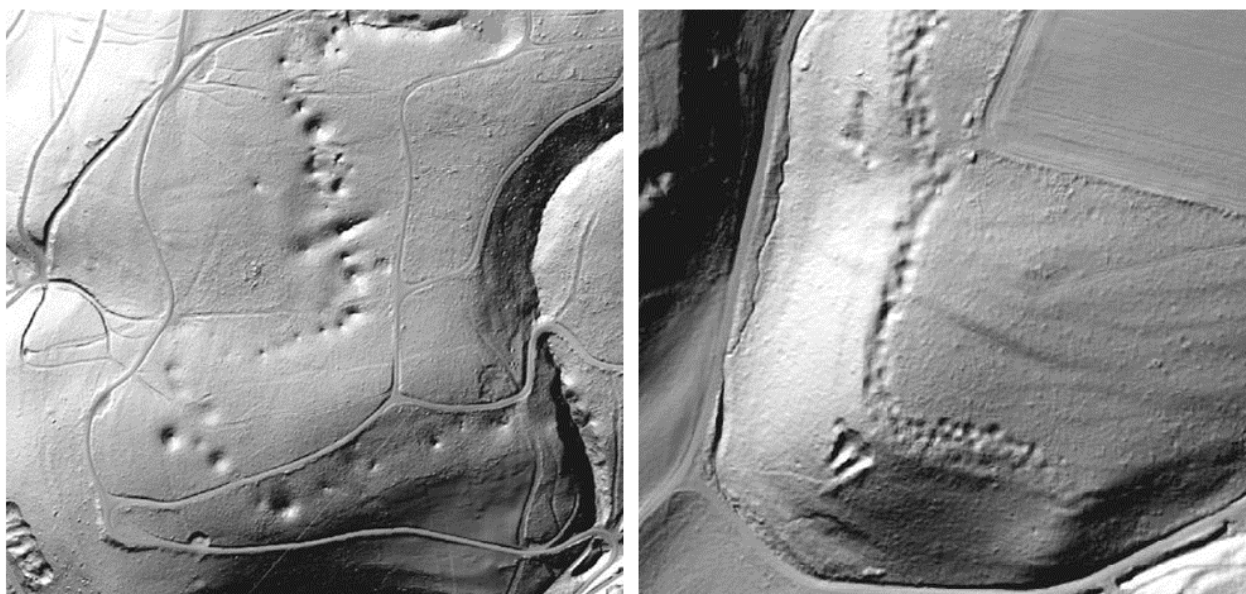


Abbildung 14: Links: Kette von Dolinen (Holgassenrüttenen, Rheinsulz, Landeskoo. 2'649'500, 1'267'000); rechts: hier handelt es sich nicht um Dolinen, sondern um Pingen (primitiven Erzabbau-Gruben) im Erzfeld östlich Döttingen (Landeskoo. 2'662'970, 1'269'300), die natürlich hier nicht erfasst wurden

6.4 Beschreibung des Prozessraum-Datensatzes Erdfall und Einsturz (Gefahrenhinweise)

Der Datensatz umfasst 144 Einzelflächen mit einer Grösse von 987 m² bis 2.1 km² (Gebiet Oberforst, östlich von Möhlin). Insgesamt werden 15.48 km² oder 1.1% der Kantonsfläche als potenziell rutschanfällig betrachtet (für weitere statistische Angaben siehe Kapitel 7).

Die einzelnen Flächen verfügen über eine eindeutige Identifikationsnummer (SPORU_ID). Weitere fachliche Attribute bestehen nicht.

6.5 Anwendungsmöglichkeiten und Vorbehalte

Der Datensatz zeigt Gebiete auf, wo natürliche oder naturähnliche Erdfall- und Einsturz-Ereignisse auftreten können, ohne Angaben zu deren Wahrscheinlichkeit zu machen. Wie oben ausgeführt, sind entsprechende Ereignisse ausserhalb der bezeichneten Gebiete nicht ausgeschlossen, aber eher unwahrscheinlich.

Einsturzphänomene können aber, insbesondere im Siedlungsgebiet, auch durch künstliche, anthropogen induzierte Prozesse wie beispielsweise Subrosionen nach Leitungsbrüchen ausgelöst werden. Eine Grosszahl der Schäden durch Absenkung, welche der Aargauer Gebäudeversicherung gemeldet wurden, sind auf Austrocknen des Bodens bei anhaltender Trockenheit oder auf das Sinken des Grundwasserspiegels aufgrund natürlicher oder künstlicher Ursachen zurückzuführen. Eher exotisch, aber im Kanton Aargau nicht ausgeschlossen, sind Tagbrüche beim Kollaps aufgelassener unterirdischer bergmännischer oder militärischer Anlagen. Der vorliegende Datensatz konzentriert sich auf natürliche Phänomene in Dolomit- und Kalkgesteinen sowie Evaporiten.

Für Gebiete ausserhalb der Bauzone ist das Inventar der Erdfall- und Einsturzgebiete ein auf längerfristige Nutzung ausgelegtes Entscheidungsinstrument, sei es zur Erkennung und Meidung von Gefahrengebieten oder zur Festlegung, wo weitere Abklärungen betreffend Erdfall und Einsturz gemacht werden müssen.

Das Inventar der Erdfall- und Einsturzgebiete überschneidet sich nur in der Gemeinde Möhlin und in Galtenkirchen (Gemeinde Bözberg) mit ausgewiesener Bauzone. Dort ist allenfalls eine Überprüfung der tatsächlichen Verhältnisse und ggf. die Ausarbeitung einer Gefahrenkarte angebracht.

7 Schlussfolgerungen

7.1 Analyse der potenziellen Gefährdung des Kantons Aargau durch Massenbewegungen

Beachtliche Teile des Kantons Aargau sind durch Massenbewegungen gefährdet. Allerdings liegen die meisten der hier erfassten potenziell gefährdeten Gebiete im Wald und im Landwirtschaftsland (TABELLE). Betroffen sind hier zu einem beachtlichen Anteil Gewässer. Mit der Gefahrenhinweiskarte liegt ein Instrument vor, mit dem der Bedarf zur Erstellung von Gefahrenkarten oder weitergehenden Untersuchungen abgeklärt und lokalisiert werden kann.

Tabelle 1: Statistische Auswertung der Gefahrenhinweiskarte hinsichtlich der prinzipiellen Landnutzung (die willkürlich angenommenen Flächen von Kantonsstrassen und Gewässer überschneiden sich teilweise mit den oben aufgeführten Nutzungen und der Landwirtschaft)

	Kanton	Wald	Bauzone	Übrige Gebiete
Fläche total (km2)	1403.80	489.60	208.67	705.53
davon vom Prozessgebiet Sturz betroffen (km2)	28.82	25.04	0.79	2.99
in % der Kantons-, Wald-, Bauzonen bzw. übrigen Fläche	2.1%	5.1%	0.4%	0.4%
davon vom Prozessgebiet Spontanrutsch betroffen (km2)	157.92	97.86	5.39	54.67
in % der Kantons-, Wald-, Bauzonen bzw. übrigen Fläche	11.3%	20.0%	2.6%	7.8%
davon vom Inventar permanenter Rutschungen betroffen (km2)	40.28	20.26	1.22	18.81
in % der Kantons-, Wald-, Bauzonen bzw. übrigen Fläche	2.9%	4.1%	0.6%	2.7%
davon vom Prozessgebiet Erdfall/Einsturz betroffen (km2)	15.48	10.59	0.38	4.50
in % der Kantons-, Wald-, Bauzonen bzw. übrigen Fläche	1.1%	2.2%	0.2%	0.6%
	Kantonsstrasse	Gewässer (gewartet)	Gewässer (ökomorpho.)	Landwirt. (geschätzt)
Länge (km)	1155.75		2980.16	
Fläche total (km2) gemäss Datensatz bzw. geschätzt		40.56		ca. 655
Fläche total (km2), Annahme Breite 7 m (Strasse) bzw. 10 m (Gewässerbereich)	8.11		33.53	
davon von Prozessgebiet Sturz betroffen (km2)	0.10	0.05	0.83	ca. 2.0
in % der Strassen-, Gewässer bzw. Landwirtschaftsfläche	1.2%	0.1%	2.5%	<1%
davon von Prozessgebiet Spontanrutsch betroffen (km2)	0.45	0.13	4.55	ca. 50
in % der Strassen-, Gewässer bzw. Landwirtschaftsfläche	5.6%	0.3%	13.6%	8%
davon vom Inventar permanente Rutschungen betroffen (km2)	0.04	0.003	1.20	ca. 17.5
in % der Strassen-, Gewässer bzw. Landwirtschaftsfläche	0.5%	<0.1%	3.6%	3%
davon von Prozessgebiet Erdfall/Doline betroffen (km2)	0.04	0.00	0.14	ca. 4.25
in % der Strassen-, Gewässer bzw. Landwirtschaftsfläche	0.5%	0.0%	0.4%	<1%

7.2 Verifizierung der Aussage der Analyse der Gefahrenhinweiskarte anhand von jüngeren Ereignissen

Nach Abschluss der Gefahrenhinweiskarte wurden der zuständigen Fachstelle in der Abteilung für Umwelt bis Ende Januar 2023 insgesamt 25 Ereignisse aus den Jahren 2020 bis 2023, z.T. nachträglich, gemeldet (Tabelle 2). Bei 20 der Ereignisse handelt es sich um spontane Translations- oder Rotationsrutsche. Bei einem (AG-2021-R-10020) um eine Kombination von Steinschlag und Rutschung. Bei all diesen 21 Rutsch-Ereignissen liegt der komplette Prozessraum im entsprechenden Hinweisgebiet der Gefahrenhinweiskarte.

Tabelle 2: Ereignisse nach Erstellen der Gefahrenhinweiskarte

StorMe-Nr	Prozess	Lokalität	Bezug zur Gefahrenhinweiskarte
AG-2020-R-10001	Rutschung	Brugg / Bruderhaus	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2020-R-10002	Rutschung	Strengelbach / Ölirain	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-EA-10002	Einsturz	Villnachern / Chessler-Schryber	vollst. im Prozessgebiet Rutschung, ev. Felsrutschung *)
AG-2021-R-10001	Rutschung	Auenstein / Tuffgraben	vollständig in Prozessgebiet Rutschung / perm. Rutsch.
AG-2021-R-10002	Rutschung	Bottenwil / Siegel	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10010	Rutschung	Reckingen (Zurzach) / Im Rank	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10011	Rutschung	Gansingen / Bürerbach beim Stegliacher	vollständig im Inventargebiet permanente Rutschung
AG-2021-R-10012	Rutschung	Sulz (Laufenburg) / Voregg	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10013	Rutschung	Uerkheim / Vorderhubel	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10014	Rutschung	Sulz (Laufenburg) / Grosshalderütene	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10015	Rutschung	Sulz (Laufenburg) / Moosmatt	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10018	Rutschung	Sulz (Laufenburg) / Wirtsächerli	vollständig im Prozessgebiet Sturz. ev. Felsrutschung *)
AG-2021-R-10019	Rutschung	Laufenburg / Chrotthalde	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10020	Steinschlag Rutschung	Witnau / Hornhof	vollständig in Prozessgebieten Sturz und Rutschung
AG-2021-R-10022	Rutschung	Boswil / Tobel des Wissenbachs	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10023	Rutschung	Eggenwil / Pflanzenbachtobel	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10027	Rutschung	Benzenschwil (Meerenschwand) / Reitibuech	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10029	Rutschung	Zofingen / Riedtal	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2021-R-10031	Rutschung	Unterkunkhofen / Tobelrütene	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2022-EA-10001	Einsturz	Münchwilen / Eich	knapp (15 m) ausserhalb Prozessgebiet Karst *)
AG-2022-R-10001	Rutschung	Rothrist / Borna	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2022-R-10002	Hangmure	Frick / Wendelhof	Zunge reicht etwas über Prozessgebiet hinaus *)
AG-2022-R-10003	Rutschung	Spreitenbach / Rütene	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2022-R-10004	Rutschung	Rothrist / Borna	vollständig im Prozessgebiet Rutschung
AG-2023-R-10001	Rutschung	Rothrist / Borna	vollständig im Prozessgebiet Rutschung

*) : Diskussion im Text

Bei einem Ereignis (AG-2022-R-10002) handelt es sich um eine Hangmure. Während sich der Anriss und der Grossteil des Transitgebietes im Hinweisgebiet Rutschung und Hangmure befinden, reicht die Zunge wenige Meter darüber hinaus. Hangmuren sind im Kanton Aargau eher seltene Ereignisse. Bei Hangmuren überwiegen Fliessprozesse (während bei spontanen Rutschungen Reibungsprozesse dominieren) und die Reichweite ist entsprechend gross. Zwar wurde bei der Modellierung der Gefahrenhinweiskarte ver-

sucht, auch Hangmuren abzubilden. Doch würde eine allzu grosse Ausdehnung des Prozessraums zu einer, über den gesamten Kanton betrachtet, unrealistischen Gewichtung der Gefährdung durch Rutschungen und Hangmuren führen. Bei Hangmuren ist also, wie beim Ereignis AG-2022-R-10002, mit kleineren Überschreitungen des ausgewiesenen Gefahrenhinweisperimeters zu rechnen.

Ein schlecht dokumentiertes Rutschereignis (AG-2021-R-10018) liegt in einem Gebiet, wo gemäss dem geologischen Atlas' Kalkstein, also ein nicht zu Rutschungen neigendes Gestein ansteht. Es wird hier vermutet, dass es sich um eine Felsrutschung an einem Weganschnitt handelt. Es handelt sich also genau genommen um ein initiales Sturzereignis. Auf die Möglichkeit von Sturzereignissen weist die Gefahrenhinweiskarte an dieser Stelle explizit hin.

Ein klassischer Einsturz einer Doline (AG-2022-EA-10001) ereignete sich rund 15 m ausserhalb des entsprechenden Hinweisgebietes. Bei der Kartierung des Hinweisgebietes, eine Pufferung um die inventarisierten Ereignisse, wurde bewusst restriktive vorgegangen um nicht zu grosse Gebiete als gefährdet zu bezeichnen und so den Hinweischarakter zu verwässern. Der Vorfall zeigt, dass die Begrenzung der Hinweisgebiete Karst eine gewissen Unschärfe hat. Dies ist bei zukünftigen Gefahrenbeurteilungen zu berücksichtigen.

Ein zweiter Einsturz (AG-2021-EA-10002) ereignete sich im Gebiet der Oberen Meeresmolasse. Dort ist Dolinenbildung im üblichen Sinn (Folge von Lösungsprozessen) unbekannt. Es wird folglich hier davon ausgegangen, dass der gut dokumentierte Einsturz mit Rutschphänomenen (insbesondere Felsrutschungen) zusammenhängt, vor welchen die Gefahrenhinweiskarte an der betroffenen Stelle warnt.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass sich alle 25 jüngeren Ereignisse in oder wenige Meter ausserhalb von Gebieten ereignet haben, die von der Gefahrenhinweiskarte als potenziell gefährdet bezeichnet werden. In wenigen Fällen unterscheidet sich der tatsächliche Prozess vom ausgewiesenen. Aber auch dort kann der tatsächliche Prozess mit dem in der Karte ausgewiesenen Prozess in Zusammenhang gebracht werden. Die Gefahrenhinweiskarte kann somit als im Feld objektiv durch tatsächliche Ereignisse verifiziert gelten.

7.3 Integration der Gefahrenhinweiskarte in das Baubewilligungsverfahren

Für die "Umsetzung Überschwemmungs- und Naturgefahrenschutz im Baubewilligungsverfahren" gilt aktuell das Merkblatt vom 11. Januar 2023. Betreffend Massenbewegungen besteht demnach ein Handlungsbedarf, wenn im Naturereigniskataster im Umfeld des Bauvorhabens ein Sturz-, Rutschungs-, Einsturz- oder Absenkungsereignis bekannt ist. Der Gefahrenhinweiskarte Massenbewegungen wird im Merkblatt explizit eine derzeitige Rechtsverbindlichkeit abgesprochen. Allerdings umfasst die Gefahrenhinweiskarte Massenbewegungen neben Gebieten, wo aufgrund von Modellüberlegungen Sturz-, Rutsch-Ereignisse auftreten können (Kapitel 3 und 4), auch ein Inventar der bekannten permanenten Rutschungen und der unkonsolidierten rezenten Rutschmassen (Kapitel 5). Zudem hat der Hinweis auf Einsturz- und Absenkungsprozesse weniger einen Modellprognose- als einen Inventarcharakter, wurden dort doch bekannte Ereignisse kartiert und mit einer Pufferzone umgeben (Kapitel 6). Wie im Merkblatt vom 11. Januar 2023 vermerkt, hilft die Gefahrenhinweiskarte Massenbewegungen aber in jedem Fall zu entscheiden, ob ein bekanntes Ereignis in der Nachbarschaft auf eine Gefährdung der im Bewilligungsverfahren stehenden Baute übertragbar ist.

Gemäss §17 VRPG sind die Baubewilligungsbehörden verpflichtet, Bauwilligen offenkundige Gefahrenhinweise mitzuteilen und gegebenenfalls abklären zu lassen. Dies gilt seit der Publikation der Karte insbesondere auch für Hinweise auf mögliche Sturz-, Rutschungs-, Einsturz- oder Absenkungsprozesse. Aufgrund der Komplexität und der mangelnden Vertrautheit eines Grossteils der Bauwilligen und der Ausführenden mit der Materie sind die Behörden verpflichtet, diese durch geeignete Massnahmen vor Nachteile zu schützen (§18 VRPG) und gegebenenfalls vorsorgliche Massnahmen zu verfügen (§20 VRPG). Daraus folgt, dass in nützlicher Frist ein Verfahren zur Behandlung von Hinweisen auf Massenbewegungen festgelegt werden muss, das diesen Anforderungen genügt und bei Gelegenheit für rechtsverbindlich erklärt werden kann. Im Folgenden soll ein solches Verfahren skizziert werden:

Die Gefahrenhinweiskarte Massenbewegungen weist allein auf die Möglichkeit hin, dass an einer bestimmten Stelle bestimmte spontane Prozesse stattfinden oder permanente Prozesse aktiv sein können. Die Karte macht keine Angabe über die Intensität, die Eintretenswahrscheinlichkeit (Wiederkehrperiode) oder die Aktivität eines Prozesses. Diese Angaben sind aber für eine erfolgreiche Gefahrenbeurteilung, Risikoeinschätzung und Schadensabwehr zwingend notwendig.

Gemäss den Vorgaben des Bundes werden diese Angaben auf Stufe Gefahrenkarte ermittelt. Gefahrenkarten können objektbezogen oder flächendeckend erstellt werden. Im ersten Fall wird die Gefährdung und das Risiko gutachterlich für ein einzelnes Bauobjekt ermittelt. Dabei kann das Gutachten so ausgelegt werden, dass es auch gerade die notwendigen Angaben zur Schadensabwehr liefert. Im anderen Fall wird die Gefährdung und das Risiko unabhängig von einem konkreten Bauwerk für einen grösseren, gemäss Gefahrenhinweiskarte möglicherweise gefährdeten Bereich, zum Beispiel den Teil einer Bauzone erarbeitet.

Zur Wahrung der Rechtssicherheit (§§ 3 und 4 VRPG) und zur Vereinfachung der Verfahren ist es zweckmässig, dass die Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau ein Pflichtenheft erstellt, das für die Ausschreibung und Durchführung der entsprechenden Arbeiten verwendet werden kann.

Ob aufgrund der Ergebnisse der Gefahrenabklärung Massnahmen zu ergreifen sind, ist idealerweise anhand einer Schutzzielmatrix festzulegen. Eine solche definiert, differenziert nach Nutzung und Objektkategorie sowie Eintretenswahrscheinlichkeit eines bestimmten Prozesses, das Schutzziel, das heisst den maximal tolerierbaren Impact. Es ist zweckmässig, eine auf die Verhältnisse im Kanton Aargau ausgerichtete Matrix zu erarbeiten. Der entsprechende Entwurf (Kapitel 0) lehnt sich analog an die Schutzzielmatrix Hochwasser des Kantons Aargau und an die Vorgaben des Bundes an.

7.4 Schutzzielmatrix Massenbewegungen

Das angestrebte Schutzziel umfasst den Personenschutz, die Begrenzung von Sachschäden, den Schutz der Umwelt und für bestimmte Einwirkungen und Bauwerke die Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit im Ereignisfall. Für die verschiedenen Nutzungen (Objektkategorien) werden entsprechend dem Schutzbedarf und Schadenpotenzial der betroffenen Objekte definiert.

Tabelle 3: Schutzzielmatrix Massenbewegungen

Nutzung (Objektkategorie)	Schutzziele Wiederkehrperiode ¹⁾		
	0-30	30-100	100-300
1 Naturlandschaft, Wald, landwirtschaftliche Flächen, Fuss-, Rad- und andere Wanderwege, land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftungswege			
2 Unbewohnte Einzelgebäude, Hofzufahrten, Forststrassen, Gemeindestrassen ausserorts			
3 Bodenverlegte kommunale und regionale Infrastrukturanlagen (Wasserversorgung, Abwasser)			
4 Gelegentlich bewohnte Einzelgebäude, Kantonsstrassen ausserorts			
5 Ständig bewohnte Einzelgebäude, landwirtschaftliche Siedlungen, periodisch stark frequentierte Anlagen ausserhalb Siedlung (Sportplätze, Campingplätze etc.)			
6 Geschlossenes Siedlungsgebiet (Bauzonen generell, inkl. Industriezone, Infrastruktur etc., Weilerzone); Abwasserreinigungsanlagen			
X Bahnlinien, Nationalstrassen, Gasleitungen, Hochspannungsleitungen	Diese Anlagen unterstehen eigenen bundesgesetzlichen Regelungen		

- 1): 0-30: grösstes anzunehmendes Ereignis mit Wiederkehrperiode 1-mal alle 30 Jahre (30-jähriges Ereignis)
 30-100: grösstes anzunehmendes Ereignis mit Wiederkehrperiode 1-mal alle 100 Jahre (100-jähriges Ereignis)
 100-300: grösstes anzunehmendes Ereignis mit Wiederkehrperiode 1-mal alle 300 Jahre (300-jähriges Ereignis)



Legende Schutzziele siehe Tabelle 4

Tabelle 4: Definition Schutzziele (Legende zur Schutzzielmatrix)

	Schutzziel	Maximal zulässig Intensität		
		Steinschlag Blockschlag	Spont. Rutschun- gen, Hangmuren	Permanente Rut- schungen
	vollständiger Schutz	$E = 0 \text{ kJ}$	$mS = 0 \text{ m}$ $h_A = 0 \text{ m}$	$v = 0 \text{ cm/a}$
	begrenzter Schutz (erhöht)	$E < 30 \text{ kJ}$	$mS < 0.5 \text{ m}$ $h_A < 0.25 \text{ m}$	$v = 0-2 \text{ cm/a}$
	begrenzter Schutz (gering)	$E = 30 - 300 \text{ kJ}$	$mS = 0.5 - 2.0 \text{ m}$ $h_A = 0.25 - 1 \text{ m}$	$v = 2-10 \text{ cm/a}$
	Kein Schutz	$E > 300 \text{ kJ}$	$mS > 2.0 \text{ m}$ $h_A > 1 \text{ m}$	$v > 10 \text{ cm/a}$
	Schutz bodenver- legter Anlagen	$E < 300 \text{ kJ}$	$mS < 0.25 \text{ m}$ $h_A < 0.25 \text{ m}$	$v = 0 \text{ cm/a}$

E: Impakt- (Einschlags-) Energie in Kilojoule
 mS: Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht in Meter
 h_A: Höhe der Ablagerung in Meter
 v: Kriechgeschwindigkeit in Zentimeter pro Jahr

Literatur

- BAFU (Hrsg.) 2016: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugs-hilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1608: 98 S.
- Buwal (1998): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. Umwelt-Materialien Nr. 85
- Gerber, W. (1994): Beurteilung des Prozesses Steinschlag. In: Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren FAN (Hg.): Ganzheitliche Gefahrenbeurteilung. Kursunterlagen zum FAN-Kurs 1994, Poschiavo.
- Jaboyedoff, M. (2003): Conefall 1.0 User Manual, Quenterra
- Losey, S. (2013): SilvaProtect-CH: Prozessmodellierung, BAFU, unter Verwendung von Textmoduls von Geotest AG, Geo 7 AG und OEKO-B AG (2006): Prozesse Steinschlag/ Blockschlag; Prozess Hangmure / Rutschung, Murgang-Schlussbericht
- Stadlin, S. (2020): Sturzprozesse. Faktenblätter Naturgefahrenprozesse. Amt für Wald und Natur, Kanton Schwyz

Gruner AG



Roger Schaub

Leiter Business Unit
Infrastruktur Oberwil



Peter Jordan

Leiter Geologie