

Schwellenkorporation Kandersteg

SPITZE STEI
SEKUNDÄRPROZESSE
RESULTATE DER ÜBERARBEITUNG 2021

Impressum

Projektbearbeitung	NDR Consulting GmbH Natural Disaster Reduction Markus Zimmermann Riedstrasse 5 CH-3600 Thun Tel: +41 (0)33 221 6952 info@ndr.ch	Hunziker Gefahrenmanagement Gabi Hunziker Ofenhausgässli 21 CH-1794 Salvenach Tel. +41 (0)31 755 87 58 Mobile +41 (0)79 789 43 87 gefahrenmanagement@bluewin.ch
--------------------	---	---

Auftraggeberin Schwellenkorporation Kandersteg

Disclaimer Die hier vorgenommenen Abschätzungen zu den Sekundärprozessen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Das Auftreten der Felsstürze und der daraus folgenden Sekundärprozesse ist jedoch mit vielen Unsicherheiten behaftet. Entsprechend sind Ausmass und Verhalten dieser Prozesse nicht in jedem Fall vorhersehbar.

Inhaltsverzeichnis

TEIL I - Erläuterungen Sekundärprozesse.....	1
1 Einleitung.....	1
2 Erläuterung der wichtigsten Begriffe	2
3 Vorgehen und verwendete Methoden	3
3.1 Grundsätzliches zum Vorgehen.....	3
3.2 Vorgehen	3
3.3 Methoden.....	3
4 Rutschung Spitze Stei – Entwicklung 2021.....	5
5 Resultate Szenarien	5
5.1 Gerinnemurgänge - Szenarien mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeit (E-Szenarien).....	6
5.2 Murgänge direkt aus Sturzereignissen - Szenarien mit grossen Volumen (F-Szenarien).....	7
5.3 Murgänge aus Sturzablagerungen - Szenarien mit hohen Abflüssen (A- und B-Szenarien).....	8
6 Resultate Wirkungsflächen.....	10
6.1 Wirkung der Schutzbauten	11
6.2 Reichweite und Ausbreitung von Murgängen	11
6.3 Beurteilung Eintretenswahrscheinlichkeiten	12
7 Festlegung Gefährdungsgebiete	15
8 Veränderungen gegenüber der Erstbeurteilung 2020	17
TEIL II - Faktenblätter Sekundärprozesse.....	18
Szenario A1 - Kleine Flutwelle aus Oeschinensee	19
Szenario A2 - Mittलगrosse Flutwelle aus Oeschinensee	23
Szenario A3- Grosse Flutwelle aus Oeschinensee	27
Szenario A4 - Flutwelle aus neu entstandenem 'Holzspichersee'	30
Szenario B - Rückschreitende Erosion in Sturzmasse.....	33
Szenario E1 - Gerinneprozesse in Hochwasser-armen Jahren	36
Szenario E2 - Gerinneprozesse in 'normalen' Hochwasser-Jahren.....	39
Szenario E3 - Gerinneprozesse in Hochwasser-reichen Jahren	42
Szenario E4 – Gerinnemurgang Einzelereignis	45
Szenario F1 _{klein} - Schuttstrom ohne gleichzeitigen Starkniederschlag	48
Szenario F1 _{gross} - Schuttstrom ohne gleichzeitigen Starkniederschlag	51
Szenario F2 _{klein} - Schuttstrom bei gleichzeitigem Starkniederschlag	54
Szenario F2 _{gross} - Schuttstrom bei gleichzeitigem Starkniederschlag	57
Szenario F3 _{klein} – Volumenstrom klein	60
Szenario F3 _{gross} – Volumenstrom gross	63
TEIL III – Anhang.....	66

Literaturverzeichnis

Berichte Spitzer Stei

- [1] Einwohnergemeinde Kandersteg, Kanton Bern, 2021: Planungszone «Spitze Stei»; Erläuterungen vom 15. Dezember 2021
- [2] Emch+Berger (2020): Interventionskonzept Spitze Stei, Version 1.0, 8. Juli 2020
- [3] GEOTEST, 2019: Kandersteg, "Spitze Stei", Expertenbericht Phase A und B, Bericht Nr. 1418139.1 vom 8. April 2019
- [4] GEOTEST, 2019: Kandersteg, "Spitze Stei", Gefahrenmanagement, Ergebnisse und Auswertungen 2019; Bericht Nr. 1418139.2 vom 12. Dezember 2019
- [5] GEOTEST, 2019: Kandersteg, "Spitze Stei", Gefahrenmanagement 2019, Felsabbruch 20.12.2019; Bericht Nr. 1418139.4 vom 20. Dezember 2019
- [6] GEOTEST, 2021: Kandersteg, Rutschung «Spitze Stei» - Entwicklung Sommer 2021. Bericht Nr. 1418139.21
- [7] GEOTEST, 2021: Spitze Stei – Szenarien Primärprozess. PDF PPTX-Präsentation vom 11.08.2021
- [8] GEOTEST, 2022: Spitze Stei, Gefahrenmanagement 2021, Überprüfung Szenarien und Wirkungsräume; Bericht Nr. 14.181391.25 vom Januar 2022
- [9] Graf, C., Rickenmann, D., (2021): Zweitmeinung Sekundär- und Tertiärprozesse, Szenarien und Wirkungsbereiche «Öschibach/Kander», Kandersteg BE; mit Anhang: Modellierung und Reichweite von Murgängen (und Bergstürzen): ein kurzes review. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, rev. 11. Oktober 2021
- [10] Hunziker, Zarn & Partner, 2019: Geschiebestudie Oeschibach
- [11] Hunziker, Zarn & Partner, 2020: Spitze Stei; Tertiärprozesse: Auswirkungen auf die Kander in Kandersteg, Projekt A-1124, August 2020
- [12] NDR Consulting GmbH, Hunziker Gefahrenmanagement, 2020: Spitze Stei – Sekundärprozesse. Faktenblätter und Erläuterungen, 05.06.2020.
- [13] NGA_20190814_HWS_Oeschibach_Szenarien
- [14] NGA_20191009_UniFR_Report_SpitzeStei_ERT
- [15] NGA_20191115_Spiste_Wasserbau
- [16] NGA_20191118_Bericht_Spitze_Stei_Einflussparameter

Ortsspezifische Grundlagen

- [17] Bach, F., 1935: Naturkatastrophen im Frutigland: Quellenbändchen zur Heimatkunde von Frutigen. 1. Heimatkunde-Vereinigung Frutigland: Buchdr. Geschäftsblatt A.G.
- [18] GHK Periglazial, 2014: GHKperiGlazial, Pilot Kandertal - Phase I, Evaluation Resultate und Evaluation Phase I, OIK I, KAWA, BAFU.
- [19] Gefahrenkarte Kandersteg (Revision), 2016: Technischer Bericht zur Gefahrenkarte, GEOTEST AG
- [20] Knapp, S., A. Gilli, F. Anselmetti, M. Krautblatter, I. Hajdas, 2018: Multistage Rock-Slope Failures Revealed in Lake Sediments in a Seismically Active Alpine Region (Lake Oeschinen, Switzerland)
- [21] Köpfli et al., 2017: The Oeschinensee rock avalanche, Bernese Alps, Switzerland: a co-seismic failure 2300 years ago? Swiss Journal of Geosciences. volume 111, pages 205–219.
- [22] Niklaus, M., 1967: Geomorphologische und limnologische Untersuchungen am Oeschinensee. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Serie Hydrologie, Nr. 14.

Prozessspezifische Grundlagen

- [23] Costa, J.E., 1988: Floods from Dam Failures. In: Flood Geomorphology; Baker, Kochel, Patton (eds).
- [24] Dave Petley, Before and after – the Hattian landslide in Pakistan, 2012:
<https://blogs.agu.org/landslideblog/2012/04/27/before-and-after-the-hattian-landslide-in-pakistan/>
- [25] Demmel, S, 2019: Water Balace in Val Bondasca. Master Thesis
- [26] Evans, S. G., Delaney, K. B., Hermanns, R. L., Strom, A., & Scarascia-Mugnozza, G. (2011). The formation and behaviour of natural and artificial rockslide dams; implications for engineering performance and hazard management. In: Natural and artificial rockslide dams (chapter 1, pp. 1-75): Springer.

- [27] Geiger, H., Zeller, J., & Röthlisberger, G. (1991). Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Grundlagen. Einführung, Methoden, Spezialstudien. Starkniederschläge: Vol. 7. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL.
 - [28] Goetz, A., Zimmermann, M., 1993: The 1991 rockslide in Randa: causes and consequences. Landslide News, Vol. 7. The Japan Landslide Society, Tokyo.
 - [29] HADES, 1992: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Geographisches Institut GIUB Universität Bern, Bern, 1992.
 - [30] <https://map.geo.admin.ch/>
 - [31] <https://www.e-pics.ethz.ch>
 - [32] <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/extremwertanalysen.html>
 - [33] Jakobsen, V. U., 2016: An empirical approach for determining the evolution and behavior of rockslide dams. Norwegian University of Science and Technology.
 - [34] Jean F. Schneider, BOKU, Vienna, 2013: <https://www.slideshare.net/ceriuniroma/schneider-impact-of-largelandslide>
 - [35] Kölla, E., 1986: Zur Abschätzung von Hochwassern in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessung. Eine Untersuchung über Zusammenhänge zwischen Gebietsparametern und Spitzenabflüssen kleiner Einzugsgebiete. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 87.
 - [36] Mizuyama, T., Kobashi, S., Ou, G., 1992: Prediction of debris flow peak discharge. Proc. International Symposium Interpraevent, Bern, Switzerland, Bd. 4, pp. 99–108.
 - [37] Rickenmann, D., 2014: Methoden zur quantitativen Beurteilung von Gerinneprozessen in Wildbächen.
 - [38] Rickenmann D., 1999: Empirical relationships for debris flows. Natural Hazards, 19, 47–77
 - [39] Rickenmann, D., Zimmermann, M., 1993: The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis. Geomorphology, Vol. 8, p. 175-189.
 - [40] Schuster, R.L., 1986: Landslide Dams: Processes, Risk and Mitigation. ASCE Publication.
 - [41] Wishart, J. S., 2007: Overtopping Breaching of Rock-Avalanche Dams. University of Canterbury
 - [42] Zimmermann et al., 1997: Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. Schlussbericht NFP 31, Verlag der Fachvereine, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Schweiz, 161 p.
-

TEIL I - Erläuterungen Sekundärprozesse

1 Einleitung

Seit 2019 haben die Bewegungen am Spitze Stei so stark zugenommen, dass grössere Abbrüche von wenigen 100'000 m³ bis maximal 20 Mio m³ Gestein erwartet werden. Im Sommer 2021 waren die Bewegung so hoch, dass die Wahrscheinlichkeit von Abstürzen nach wie vor besteht. Als Folge der Abbrüche muss in der Folge mit Murgängen und geschiebeführenden Hochwassern gerechnet werden. Diese Prozesse werden als Sekundärprozesse bezeichnet und sind direkt von der Sturzaktivität am Spitze Stei abhängig. Ohne weitere Abbrüche sind keine grösseren Murgänge zu erwarten. Bei verstärkter Sturzaktivität, respektive erfolgten Abstürzen können hingegen grosse Murgänge auftreten, die bis weit ins Dorf fliessen. Das Spektrum an möglichen Ereignisabläufen (Szenarien) ist gross.

Im Frühjahr 2020 wurden die Sekundärprozesse erstmals beurteilt, basierend auf dem damaligen Kenntnisstand und dem damaligen Ausbaustand der Schutzdämme.

Gut ein Jahr später (Juli/August 2021) haben sich Kenntnisstand und verschiedene Grundlagen (auch bezüglich Primärprozess) wesentlich verändert. Es war daher angezeigt, die Szenarien, die Wirkungsgebiete und einen entsprechenden Umgang mit diesen zu überarbeiten.

In den folgenden Bereichen haben sich die Bedingungen verändert:

- **Bauliche Schutzmassnahmen:** zum Zeitpunkt der Erstbeurteilung waren die heute bestehenden Dämme erst in planerischer Form vorhanden. Heute bestehen die Dämme teilweise in der vorgesehenen Endausführung. In einzelnen Dammschnitten wird allerdings immer noch gebaut. Die vorliegenden Resultate berücksichtigen den Ausbaustand per Ende Juni 2021
 - Damm Zilfuri grösstenteils auf Höhe 5 m ausgebaut (Ende 2020 Dammhöhe 3 m)
 - Damm Oeschiwald auf Höhe 3 m ausgebaut (Ende 2020 Dammhöhe 3 m)
 - Dämme GAP, unterster Teil 2021 fertiggestellt, Höhen 2.5 – 4 m (Mitte 2020 noch keine Massnahmen vorhanden, jedoch geplante Massnahmen berücksichtigt in den Wirkungsflächen 2020)
 - Einbau Murgangnetz im GAP-Abschluss (Fertigstellung Oktober 2021)
 - Ablagerungsvolumen GAP 150'000 – 200'000 m³ (2020 Ablagerungsvolumen 30'000 - 50'000 m³)
- **Zweitmeinung zu den Sekundärprozessen [9], erstellt durch die WSL:** Die Zweitmeinung hat die Szenarien im Grundsatz bestätigt, ausser beim F2 Szenario. Dort wurde empfohlen, die Reichweite für Ereignisse mit kleineren Volumen zu prüfen. Zudem wurde klar empfohlen, das Verhalten der Murgänge mit Modellen (v.a. RAMMS) zu überprüfen.
- **Allgemeine Erkenntnisse** zu den Stürzen, zu den Murgängen im Oeschibach und zu möglichen Flutwellen.

Im hier vorliegenden Dokument werden die Resultate der Überarbeitung 2021 und insbesondere die Veränderungen gegenüber der Erstbeurteilung von 2020 dargestellt. Die Resultate werden mit Angaben zu den verwendeten Methoden ergänzt.

Der Bericht befasst sich ausschliesslich mit den Sekundärprozessen (Murgangprozesse). Die Primärprozesse (Sturzprozesse) und die Tertiärprozesse (Überflutung) sind nicht Bestandteil der vorliegenden Untersuchungen. Beide Prozesse wurden 2021 ebenfalls überarbeitet. Die Resultate der Überarbeitung der Primärprozesse [6], [7] und [8] bilden eine wichtige Grundlage. Sie wurden entsprechend berücksichtigt.

Die Erkenntnisse und Resultate der Beurteilung 2020 (Erstbeurteilung) sind im Bericht Sekundärprozesse [12] vom 05.06.2020 beschrieben. Der vorliegende Bericht befasst sich im Wesentlichen mit den neuen Resultaten. Bestandteile des Berichts 2020 sind nur so weit übernommen, wie sie für das Verständnis der vorliegenden Resultate notwendig sind.

Es wird hier darauf hingewiesen, dass die Beurteilung von Prozessen mit Unsicherheiten behaftet sind. Die hier dargelegten Szenarien, Prozessflächen und Wirkungsgebiete wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021. Auf bestehende Unsicherheiten wird im vorliegenden Bericht an den entscheidenden Stellen jeweils eingegangen.

Die Unsicherheiten ergeben sich nicht zuletzt daraus, dass

- im Oeschibach bisher keine Ereignisse in der Grössenordnung auftraten, respektive dokumentiert wurden, für das zukünftige Verhalten interpretiert werden können.
- in der Schweiz wenig Daten und Information von Ereignissen grösser als 0.5 Mio m³ (Rotlauri, Guttannen, August 2005 als eines der grössten Ereignisse mit etwa 500'000 m³) vorliegen, aus denen ein Verhalten der Murgänge am Spitze Stei abgeleitet werden kann.
- Murgänge nach wie vor schwierig zu modellieren sind. "Bezüglich der Modellierung von Murgängen (und auch von Bergstürzen) bestehen nach wie vor grosse Unsicherheiten" (aus Zweitmeinung, WSL 2021 [9])

Wenig Erfahrung besteht zudem für das Management von sehr grossen Volumen (mehrere 100'000 m³). Die Schwierigkeiten sind einerseits technischer Natur (beispielsweise Befahrbarkeit GAP unmittelbar nach dem Ereignis), organisatorischer Natur (gibt es genügend Transportkapazitäten) oder politischer Natur (Entscheid Ablagerungsraum). In den vorliegenden Untersuchungen wurde jeweils davon ausgegangen, dass das Volumen im GAP vollständig zur Verfügung steht.

2 Erläuterung der wichtigsten Begriffe

Die im Bericht häufig verwendeten Begriffe sind im Folgenden kurz erläutert:

Tabelle 1: Definition der wichtigsten Begriffe

Begriff	Definition
Primärprozesse	Sturz- und Rutschprozesse vom Spitze Stei. Initialprozess, welcher die Ausgangslage für die Sekundär- und Tertiärprozesse bildet.
Sekundärprozesse	Geschiebetransportprozesse (primär Murgang, auch fluvialer Geschiebetransport), welche sich aus den Sturzablagerungen vom Spitze Stei heraus entwickeln können oder welche direkt aus dem Sturzprozess in einen Murgang übergehen. Die Abgrenzung der Sekundärprozesse zu den Tertiärprozessen erfolgt räumlich, mit dem Ablagerungsraum (GAP) als Schnittstelle.
Tertiärprozesse	Hochwasserprozesse (unterhalb des GAP) als Folge eines veränderten Geschiebeanfalls im Unterlauf des Oeschibachs (Abschnitt vom Murgangnetz in die Kander). Dazu gehören auch die Auswirkungen auf die Kander selbst.
Szenarien	Abbildung, respektive Ausprägung, eines bestimmten Ereignisses oder Ereignisablaufs.
Intensität / Einwirkung	Mass für die Stärke des Prozesses, gemessen an der Fließgeschwindigkeit, der Ablagerungshöhe oder der Fliesstiefe; kann auch als Mass für die Zerstörungskraft betrachtet werden.
Wahrscheinlichkeit / Eintretenswahrscheinlichkeit	Häufigkeit, mit der das Eintreten des Ereignisses erwartet wird. Der Begriff Eintretenswahrscheinlichkeit wird synonym zu Wahrscheinlichkeit verwendet. Er gibt Auskunft darüber, wie wahrscheinlich das Auftreten (in %) eines Ereignisses/eines Szenarios ist. Im vorliegenden Bericht wird ein Betrachtungshorizont von 10 Jahre gewählt. Die angegebenen Wahrscheinlichkeiten geben somit Auskunft darüber, wie wahrscheinlich ein Ereignis in den nächsten 10 Jahren ist.
Wirkungsflächen	Flächen, welche durch die Prozesse eines bestimmten Szenarios betroffen sind. Für jede Fläche wurde die erwartete Einwirkung/Intensitäten (Fließgeschwindigkeiten, Ablagerungshöhen, Fliesstiefen) beurteilt und ausgewiesen. In den dargestellten Wirkungsflächen sind sämtliche Flächen enthalten, die direkt aus den untersuchten Szenarien der Sekundärprozesse resultieren. Die Wirkungsflächen der Primär- und Tertiärprozesse sind darin nicht enthalten.
Gefährdungsgebiete	Zeigen, wo im Raum mit welcher Eintretenswahrscheinlichkeit und mit welcher Einwirkung zu rechnen ist. Grundlage für die Abgrenzung der Gefährdungsgebiete sind die Wirkungsflächen, wobei die Gefährdungsgebiete die Gesamtschau aller Wirkungsflächen aller Prozesse (Primär-, Sekundär- und Tertiärprozesse) darstellt.
Sattelzone	Bereich vor dem Westende des Oeschinensees. In diesem Bereich werden die Hauptablagerungen bei grösseren Stürzen vom Spitze Stei erwartet.
Schuttstrom, Volumenstrom	Es bestehen keine offiziellen Definitionen zu Schutt- und Volumenstrom. In den vorliegenden Untersuchungen wurden die Prozesse wie folgt definiert: Schuttstrom: Grosser Murgang, welcher sich als Folge einer teilweisen Sättigung der Sturzmasse und geringer Wasseraufnahme im Oeschibach, unmittelbar aus einem grösseren Sturzereignis entwickelt. Absturz von Gesteinsmaterial en bloc. Auslösung erfolgt durch Starkniederschläge. Der Schuttstrom kann je nach Wassergehalt in eher trockener oder eher nasser Form auftreten. Er tritt normalerweise in voneinander abgegrenzten Schüben auf. Volumenstrom: Murgang, welcher sich als Folge einer teilweisen Sättigung der Sturzmasse unmittelbar aus dem Sturzprozess entwickelt. Die Entstehung erfordert ein kontinuierliches Abstürzen von Gesteinsmaterial in kleineren Paketen, welche zu einem förderbandähnlichen Abfließen führen. Auslösung erfolgt durch Starkniederschlägen bei vorgesättigter Sturzmasse. Der Volumenstrom weist gegenüber dem Schuttstrom einen deutlich höheren Wassergehalt auf, hat einen kleineren Spitzenabfluss und tritt nicht in den markanten Schüben auf.
GAP	steht für G eschiebe a blagerungs p latz. Dieser umfasst den Bereich innerhalb der Schutzdämme. Oberhalb der Dämme können zähflüssige Murgangereignisse zur Ablagerung kommen. Diese Ablagerungsbereiche werden in der Beurteilung der Wirkungsflächen berücksichtigt, sie werden aber nicht zum Inhalt des GAPs gezählt.

3 Vorgehen und verwendete Methoden

3.1 Grundsätzliches zum Vorgehen

Die erste Beurteilung der Murgangprozesse (Sekundärprozesse) erfolgte im Frühjahr 2020 mit vielen Annahmen, welche getroffen werden mussten, ohne dass beispielsweise die Schutzbauten vorhanden waren oder mit beschränkten Kenntnissen der Primärprozesse, welche für die Auslösung der Sekundärprozesse entscheidend sind. Im Rahmen einer Zweitmeinung [9], welche im Frühjahr 2021 durch die WSL erfolgte, wurden die zuvor getätigten Untersuchungsergebnisse weitgehend bestätigt. Es wurden darin aber auch konkrete Empfehlungen abgegeben, respektive Fragen aufgeworfen. Diese wurden im Rahmen der Überarbeitung geprüft und das Resultat der Überprüfung umgesetzt. Diese Empfehlungen/Fragen (kursiv) sind hier zusammengefasst. In den weiteren Kapiteln werden die jeweiligen Punkte aufgenommen:

- *Schuttströme können schon bei geringerer Kubatur als die gewählten $\frac{3}{4}$ Mio m³ die Kander erreichen:* Dies wurde entsprechend umgesetzt. Bei den grossen Murgängen (in der Erstbeurteilung Schuttströmen F1 und F2 genannt) wurde zwei Subszszenarien 'klein' und 'gross' geprüft. Neu wurde auch ein Volumenstrom definiert (F3), welcher in der Zweitmeinung als ein zu berücksichtigender Prozess empfohlen wurde.
- *Modellierung der Murgänge, der Murgangablagerungen:* die verschiedenen Szenarien wurden systematisch mit 2 Modellen simuliert (RAMMS und Flow-R). Dabei wurde die Ausbreitung der Murgänge sowohl im GAP als auch ausserhalb des GAP (mit den Dämmen) geprüft.
- *Modellierung des Verhaltens der Murgänge:* Die Schutzdämme wurden in die Modellierungen mit RAMMS und Flow-R einbezogen (Stand Ende Juni 2021) und das Abschlussbauwerk des GAP (Netz) beim Verhalten der einzelnen Szenarien berücksichtigt. Die Wirkung des Abschlussbauwerks (Murgangnetz) kann mit den Modellen nicht direkt abgebildet werden; die Bearbeiter der Zweitmeinung haben dies im Gespräch bestätigt. Die Wirkung des Murgangnetzes wurde daher gutachtlich (basierend auf einer volumetrischen Betrachtung), beurteilt. Es wurde dabei ein wirksames Volumen von 150'000 – 200'000 m³ angenommen.
- *Darstellung Unsicherheiten:* Unsicherheiten bestehen sowohl beim Primär- als auch beim Sekundärprozess vielerorts. Diese werden in den jeweiligen Szenarien diskutiert und sind auch in den Überlegungen zu den Wahrscheinlichkeiten angegeben.
- *Nachvollziehbarkeit und Transparenz:* Die Herleitung der einzelnen Parameter der verschiedenen Szenarien sind in den Faktenblättern ausgewiesen. Die Angaben zu den massgebenden Parametern der Modellierung sind in der Dokumentation im Anhang ausgewiesen.
- *Thema Jahresniederschlag:* Die Herleitung des möglichen Jahresniederschlags im Einzugsgebiet (relevant für die A-Szenarien) wurde mit zusätzlichen Unterlagen belegt (insbesondere mit der Publikation von Niklaus zum Wasserhaushalt des Oeschinensees, [22]).
- *Modellierung Ablagerungsraum und Entlastung in Oeschwald:* Diese Massnahme wurde nicht geprüft, da einerseits der Damm Oeschwald noch nicht fertig gebaut ist und andererseits noch keine Klarheit zum Deponiekonzept besteht.

3.2 Vorgehen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Untersuchungen durchgeführt. Diese basieren auf dem Ausbaustand der Dämme vom 28. Juni 2021; das Murgangnetz im Abschluss des Geschiebeablagerungsplatzes (GAP) wurde berücksichtigt.

- a) Überprüfung der Szenarien auf Vollständigkeit und Aktualität
- b) Plausibilisierung der Wirkungsflächen mittels Simulationen
- c) Ausscheidung der überarbeiteten Wirkungsflächen
- d) Beurteilung der Eintretenswahrscheinlichkeit der Szenarien
- e) Umsetzung der Wirkungsflächen in Gefährdungsgebiete

3.3 Methoden

Unter Sekundärprozesse werden Murgänge und Murgang-ähnliche Geschiebeverlagerungsprozesse verstanden. Für deren Beurteilung gibt es eine Vielzahl empirischer Ansätze und Modelle. Nach Rickenmann (2014) [37] und Graf/Rickenmann (2021) [9] bestehen bezüglich der Modellierung von Murgängen (und auch von Bergstürzen) nach wie vor grosse Unsicherheiten, deren Ursache darin begründet ist, dass in der Regel kaum gut gesicherte Grundlagen zu den relevanten Modellparametern bestehen. Modellparameter müssen daher durch beobachtete Ereignisse 'geeicht' bzw. rückgerechnet werden. Fehlen Ereignisse oder liegen nur sehr wenige Ereignisse vor, müssen die Parameter gutachtlich gewählt werden.

Da keine Methode für sich allein exakte Resultate liefern kann, wurde für die Beurteilung der Sekundärprozesse verschiedene Methoden angewendet, die Resultate miteinander verglichen und daraus die wahrscheinlichsten Ereignisabläufe und Wirkungsflächen bestimmt.

Gutachterliche Beurteilung

- Geländeinterpretation: Interpretation der Geländeneigung, möglicher bevorzugter Fliesswege (Tiefenlinien), Bodenrauigkeiten und bestehenden Hindernissen (Dämme, Häuser, Wald, etc.).
- Analyse vergangener Ereignisse: Ereigniskataster, historische Karten, Bilder und Dokumente, aber auch Analyse von Murgangspuren im Gelände (gerade im Oeschwald hat es deren viele, aber auch im Waldstück bei Achere).
- Analogien zu stattgefundenen Ereignissen (Schweiz, Alpenraum, geologisch-topographisch vergleichbare Gebiete)

Empirische Ansätze für die Murgangbeurteilung

- Erosion/Erosionsleistung:
Bestimmung von Tiefenerosion. Die Tiefenerosion kann mit einer einfachen Beziehung geschätzt werden: $TE = 1.5 + 12.5 \cdot J$ [35]. Mit einem für Murgänge typischen Breiten-zu-Tiefenverhältnis (B:T) von etwa 3-5 lässt sich die Erosionsleistung (m^3/m) schätzen. Als Erosionsleistung wird die Menge an Geschiebe bezeichnet, welche durch einen Murgang während eines Ereignisses in einem typischen Querschnitt erodiert wird.
- Abflüsse:
Die empirischen Formeln nach Rickenmann, 2014 [37] und Mizuyama et al., 1992 [36] stellen eine Beziehung zwischen dem Murgangvolumen und dem maximalen Murgangabfluss (m^3/s) her. Hier wurde jeweils ein Mittelwert dieser Beziehungen verwendet.
- Reichweite:
Für die Abschätzung der Reichweite von Murgängen auf dem Schwemmkegel wurden zwei Ansätze verwendet, der Pauschalgefälle-Ansatz und das 2-Parameter Modell. Beim Pauschalgefälle-Ansatz wird die Reichweite in Abhängigkeit der Murgangfracht und der Höhendifferenz zwischen oberstem Anrisspunkt und unterstem Ablagerungspunkt berechnet. Beim 2-Parameter Modell basiert die Berechnung auf einem Gleitreibungswert μ und einem Wert der Inneren Reibung M/D. Für beide Werte liegen Erfahrungswerte vor [42].
- Ausbreitung: Der k_B Wert stellt einen dimensionslosen Mobilitätskoeffizienten dar und ist ein Mass für die Materialeigenschaften eines Murgangs. Er kann für die Plausibilisierung der Ablagerungsfläche verwendet werden: $k_B = B/V^{2/3}$, wobei B die Ablagerungsfläche in m^2 und V das Murgangvolumen darstellt. Es liegen Richtwerte für zähflüssige bis flüssige Ereignisse vor [9].
- Empirische Ansätze für Seeausbrüche:
Die Berechnung der Abflussmengen erfolgte nach dem Ansatz Schuster, 1986 [40].

Simulationen

Heute stehen diverse Simulationsmodelle für die Modellierung von Murgangprozessen und Flutwellen zur Verfügung. Für die Modellierung der Murgänge vom Spitz Stei wurden drei Modelle eingesetzt, welche in der Schweiz häufig zur Anwendung kommen:

- Flow-R (www.flow-r.com): ist ein Massenpunktmodell (berücksichtigt das Volumen nur bei der Parameterwahl). Es können verschieden Fliessmodelle gewählt werden. Das Modell eignet sich insbesondere für die Abschätzung von Reichweiten und Ausbreitung.
- RAMMS Debris Flow (Version 1.7.20 64-bit (ramms.slf.ch)): ist ein hydraulisches Modell, mit dem Murgänge, Lawinen und andere Fliess- und Sturzprozesse simuliert werden können. Es liefert gute Resultate zum Ablagerungsverhalten.
- Basement (www.basement.ethz.ch): ist ein hydraulische Modell zur Simulation von Hochwasser. Es wurde für die Simulation der Flutwellen eingesetzt. Die Modellierungen erfolgten im Rahmen einer Arbeit am Geogr. Institut der Universität Bern. Simuliert wurden die Flutwellen-Szenarien A1 und A3.

Die Sensitivität der Resultate von Flow-R und RAMMS wurde durch die Verwendung unterschiedlicher Parameterkombinationen geprüft.

Die Modellierungen basieren auf dem Terrainmodell Stand 28. Juni 2021. Dies betrifft sowohl den Ausbaugrad der Dämme als auch der Zustand des Geschiebeablageplatzes (Ablagerungsvolumen). Bei den Modellierungen wurde davon ausgegangen, dass das Ablagerungsvolumen im GAP zur Verfügung steht, wie im Interventionskonzept [1] dargestellt. Sollte dies nicht der Fall sein (weil beispielsweise der Zugang in den GAP nur erschwert möglich ist oder die Ablagerungen im GAP zu flüssig sind), könnten grössere Flächen betroffen sein, bzw. werden sich die Wahrscheinlichkeiten für Ausuferungen erhöhen.

Die definitive Festlegung der Wirkungsflächen (durch Murgang- und Übersarungsprozesse betroffene Flächen) erfolgte aus der Kombination aller oben genannter Ansätze. So kann gewährleistet werden, dass die ausgeschiedenen Flächen breit abgestützt sind.

4 Rutschung Spitze Stei – Entwicklung 2021

Wie die Murgangprozesse wurden auch die Sturz- und Rutschprozesse des Spitze Stei im Sommer 2021 überprüft und überarbeitet. Die Resultate der Untersuchungen sind in GEOTEST 2021 [6], [7] und [8] dokumentiert. Nachfolgend sind die für die Entstehung der Murgangprozesse (Sekundärprozesse) relevanten Veränderungen gegenüber der Situation 2020 zusammengestellt:

- Neues Szenario Staubbach, ausgelöst durch neu erkannte Rutschbewegungen Richtung Einzugsgebiet Staubbach
- Aktualisierung der Eintretenswahrscheinlichkeit der Szenarien und deren Quantifizierung
- Aktualisierung des geologischen Modells (Lage, Kubaturen und Bewegungsraten der Kompartimente)
- Aussagen zum Einfluss von Lawinenschnee in den Chalberspissibächen
- Aussagen zum Wasserhaushalt, respektive zu einem möglichen Eisgehalt in der Rutschmasse

Wie bereits einleitend erwähnt, ist das Auftreten von Murgangprozessen von der Aktivität am Spitze Stei abhängig. Grössere Murgänge treten erst auf, wenn entsprechende Geschiebemengen die Chalberspissibäche/Staubbach mit Schutt füllen, genügend Sturzschutt einen grösseren Ablagerungskörper bildet aus welchem sich Murgänge lösen können oder wenn Sturz- und Rutschprozesse direkt in Murgänge übergehen. Entsprechend wichtig ist es, das Zusammenspiel von Sturzprozessen und Murgangprozessen gut zu kennen. 2021 fand daher regelmässig ein Informationsaustausch zwischen den Bearbeitungsteams der Sturzprozesse und der Murgangprozesse statt. Involviert waren ebenfalls das OIK I und das AWN.

Tabelle 2: Definition der Sturzzenarien, Stand 11.08.2021

Szenario neu	Szenario alt	Beschreibung	Abbruchvolumen
R1	1	Rutschung aus Westflanke	bis 0.2 Mio. m ³
S1	2	Felssturz aus Zentrum/Gipfel	bis 0.2 Mio m ³
R2	3	Grosse Schutrutschungen	bis 0.6 Mio m ³
S2	4	Mehrere grosse Felsstürze	bis 1 Mio m ³
S3	6	Mehrere grosse Stürze	bis 3 Mio m ³
S4	6	Mehrere grosse Stürze Staubbach	bis 1.5 Mio m ³
S5	7	Grosser Bergsturz	bis 8 Mio m ³
S6	8	Gesamtabbruch	20 Mio m ³
R3	--	Rutschung aus Frontbereich Ost	bis 0.2 Mio m ³
S7	--	Komplettabsturz Bereich Ost	3 Mio m ³

5 Resultate Szenarien

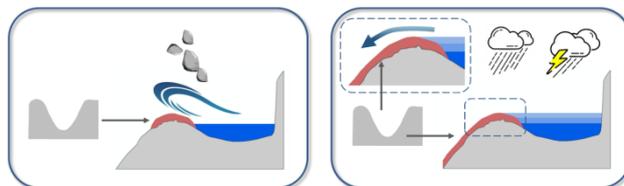
Die ursprünglich erarbeiteten Szenarien vom Juni 2020 wurden überprüft und teilweise ergänzt. Die Zweitmeinung (2021) [9] hat bestätigt, dass die 2020 definierten Szenarien nachvollziehbar und dem Wissenstand entsprechend dargestellt wurden. Deshalb wurden keine grundsätzlichen Anpassungen vorgenommen. Die Einzelereignisse E4 und F3 wurden neu definiert sowie bei den F-Szenarien jeweils eine kleine und eine grosse Ausprägung untersucht. Dies ist in den jeweiligen Abschnitten dargestellt.

Die verschiedenen Szenarien wurden in der Ursprungsversion von A – F benannt. Diese Bezeichnungen wurden beibehalten, obwohl die Szenarien C und D in die bestehenden überführt wurden und so nicht mehr vorkommen.

Die Sekundärprozesse sind direkt von den Primärprozessen abhängig. Ohne die Lieferung von Schutt durch Sturzereignisse können auch keine grösseren Murgangereignisse auftreten. Basierend auf den Sturzprozessen (im direkten fachlichen Austausch mit den Bearbeitern der Primärprozesse), wurden verschiedene mögliche Ereignisabläufe geprüft und Szenarien definiert (Grösse, Verhalten, Wahrscheinlichkeiten). Die nachfolgend aufgeführten Szenarien wurden als realistisch eingestuft und weiter untersucht:

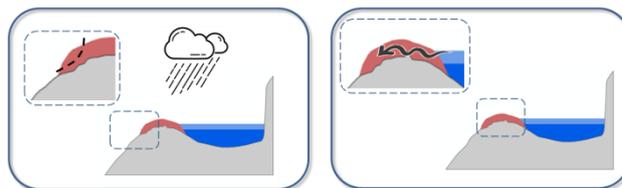
A1 bis A4: Flutwellen

- Flutwellen aus Oeschinensee oder neuem Holzspichersee, mit Überströmen oder Breschenbildung in der Sturzablagung.
- Einmaliges Ereignis; wiederholtes Auftreten bei A1 und A2 möglich, jedoch mit sehr kleiner Wahrscheinlichkeit.
- Eintreten der Szenarien abhängig von der Grösse des Sturzereignisses

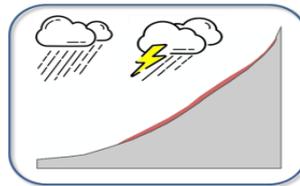


B: Rückschreitende Erosion in Sturzablagerung

- Instabilität in steiler Front
- Durchströmung (Piping)
- Mehrfaches Auftreten möglich, aber wenig wahrscheinlich

**E1 bis E4: Gerinneerosion**

- Erosion in den mit Felssturzmaterial gefüllten Rinnen des Chalberspissi-, Staub- und des Oeschibachs
- Wiederkehrende Ereignisse: E1 bis E3, mit Jahresbetrachtung; E4 als grosses Einzelereignis
- Abhängig von der Verfügbarkeit von Lockermaterial direkt im Gerinne

**F1 bis F3: Schuttstrom bzw. Volumenstrom**

- Übergang Felssturz in Murgang
- F1 = Auftreten bei trockenen Verhältnissen
- F2 = Auftreten bei nassen Verhältnissen
- F3 = Auftreten bei sehr nassen Verhältnissen, gleichmässiges (förderbandartiges) Abfließen als Murgang
- Einmaliges Ereignis; eine Wiederholung kann nicht ausgeschlossen werden
- starke Abhängigkeit von der Grösse des Sturzereignisses und der Verfügbarkeit von Wasser

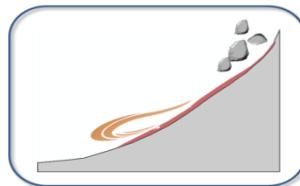


Abbildung 1: Übersicht über die Untersuchten Szenarien

Die aufgeführten Szenarien können in 3 Hauptgruppen eingeteilt werden:

- Gerinnemurgänge: Szenarien mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeiten. Dazu gehören die Szenarien E1 bis E4
- Murgänge direkt aus Sturzereignissen: daraus ergeben sich Szenarien mit grossen Volumen. Dazu gehören die Szenarien F1 bis F3
- Murgänge aus Sturzablagerungen: daraus ergeben sich Szenarien mit hohen Abflüssen. Dazu gehören die Szenarien A1 bis A4 und B

Details zu den einzelnen Szenarien können, wie bereits im Bericht 2020 [12], den Faktenblättern im Teil 2 entnommen werden. Die Faktenblätter wurden, soweit sie ihre Gültigkeit behalten haben, übernommen, respektive dort angepasst, wo sich relevante Änderungen gegenüber der Situation von 2020 ergeben haben. Neu dokumentiert sind die zusätzlichen Szenarien E4 und F3, sowie bei allen Szenarien die notwendigen Voraussetzungen für die Entstehung und die Einstufung der Eintretenswahrscheinlichkeiten.

5.1 Gerinnemurgänge - Szenarien mit hoher Eintretenswahrscheinlichkeit (E-Szenarien)

Die höchsten Eintretenswahrscheinlichkeiten sind bei den Gerinnemurgängen (Szenarien E1 bis E4) zu erwarten. Diese benötigen als Voraussetzung genügend Sturzschutt in den Chalberspissibächen, im Staubbach bzw. im Oeschibach und einen genügend intensiven Abfluss, um das Geschiebe zu mobilisieren.

Beide Voraussetzungen sind aktuell ohne besondere Umstände gegeben. Die Chalberspissibäche werden laufend durch bereits kleinere Abbrüche vom Spitze Stei mit Geschiebe gefüllt. Bei stärkeren Niederschlägen können schon kleinere Geschiebemengen verlagert werden. Bei intensiveren Starkregenereignissen wird entsprechend mehr Geschiebe transportiert. Die Grösse der Murgangereignisse ist direkt abhängig von der verfügbaren Geschiebemenge in den Gerinnen (Chalberspissi, Oeschibach und Staubbach) und der Abflussmenge als Folge von Niederschlägen, insbesondere in Kombination mit Schneeschmelze. Sind die Chalberspissibäche durch zahlreiche kleinere Sturzereignisse bereits stark mit Geschiebe gefüllt, nimmt die Gefahr von grösseren Murgängen zu. Ähnliches trifft für den Staubbach zu; hier ist insbesondere das Sturzscenario S4 relevant.

Betrachtet wurden folgende Ereignisse:

E1 - Gerinnemurgänge in hochwasser-armen Jahren: Als hochwasser-arme Jahre gelten Jahre, in denen nur wenige und kleine Hochwasser auftreten. Im hochwasser-armen Jahr werden rund 8'000 - 10'000 m³ Geschiebe in den Chalberspissibächen und im Oeschibach erodiert. Es wird davon ausgegangen, dass innerhalb von 10 Jahren 2 hochwasser-arme Jahre auftreten.

E2 - Gerinnemurgänge in Jahren mit normaler Hochwasseraktivität: Als Normaljahre gelten alle übrigen Jahre, welche weder besonders hochwasser-reich, noch besonders hochwasser-arm sind. In normalen Jahren können rund 40'000 m³ Geschiebe mobilisiert werden. Bei einer Betrachtung über 10 Jahre verbleiben 6 Jahre, welche als Normaljahre deklariert werden können.

E3 - Gerinnemurgänge in hochwasser-reichen Jahren: Als hochwasser-reiche Jahre gelten Jahre, in denen viele und vor allem grössere Hochwasserereignisse auftreten. In hochwasser-reichen Jahren können rund 100'000 m³ Geschiebe mobilisiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass innerhalb von 10 Jahren 2 hochwasser-reiche Jahre auftreten.

E4 – Grosser Gerinnemurgang: Im Unterschied zu den Szenarien E1 bis E3, welche eine Jahresbetrachtung darstellen, wird beim Szenario E4 von einem grossen Murgangereignis aus den gefüllten Chalberspissibächen oder dem Staubbach ausgegangen. Dabei können rund 180'000 m³ Geschiebe mobilisiert werden; 130'000 m³ als Murgang, 50'000 m³ fluvial. Es wird davon ausgegangen, dass ein sehr grosser Gerinnemurgang E4 innerhalb von 10 Jahren etwa 1-Mal auftreten kann.

Voraussetzungen für die Entstehung von Gerinnemurgängen in den Chalberspissibächen und im Staubbach:

- Abbruchvolumen von wenigen 100'000 m³ genügen zur (Teil-)Füllung der Gerinne
- bereits kleinere, häufigere Stürze können die Bäche mit Geschiebe füllen
- Geschiebeverfügbarkeit in den Gerinnen der Zubringerbäche und des Oeschibachs
- Verfügbarkeit von Wasser, respektive hohen Abflüssen als Folge von Niederschlägen. Bei Starkniederschlägen können grosse Geschiebemengen in kurzer Zeit mobilisiert werden. Bei langen Nässeperioden ist die Erosion von Geschiebe geringer, über die lange Dauer der Niederschläge können dennoch grosse Geschiebemengen bis in den GAP transportiert werden. Besonders gefährlich ist die Kombination von Niederschlägen zusammen mit Schneeschmelze.

5.2 Murgänge direkt aus Sturzereignissen - Szenarien mit grossen Volumen (F-Szenarien)

Die grössten Volumen können bei einem direkten Übergang der Sturzprozesse in Murgangprozesse mobilisiert werden. Bei diesem Ereignisablauf geht ein Teil der abstürzenden Masse direkt in einen Murgangprozess über. Die Zweitmeinung [9] hat, nicht zuletzt aufgrund der Situation vom Frühling 2021 darauf hingewiesen, dass die Szenarien, bei welchen sich Murgänge unmittelbar aus Sturz- oder Rutschungen vom Spitze Stei entwickeln, zu prüfen sind. Es handelt sich dabei um die im Bericht 2020 [12] beschriebenen Schuttstrom-Szenarien. Im Rahmen der Überarbeitung der Sekundärprozesse wurde diese Forderung der Zweitmeinung umgesetzt, indem die bereits bestehenden Szenarien F1 und F2 jeweils mit den Ausprägungen F1_{klein}, F1_{gross}, sowie F2_{klein} und F2_{gross} detailliert untersucht wurden. Die Begriffe 'klein' und 'gross' beziehen sich auf das Volumen des Murgangs, welcher sich unmittelbar aus dem Sturzmaterial entwickelt. Als 'klein' wurden Murgangvolumen von 150'000 - 300'000 m³ betrachtet; als 'gross' Volumen von 500'000 – 750'000 m³.

Aufgrund der Situation im Frühling 2021, mit hohen Bewegungsraten als Folge des Zusammenfallens von intensiver Schneeschmelze und Regen-Niederschlägen, wurde eine weitere Ausprägung in die Untersuchungen einbezogen, welche bei sehr nassen Bedingungen, respektive sehr viel Wasser in der Sturz-/Rutschmasse des Spitze Stei auftreten kann. Später Schneefall im Frühling 2021 hat dazu geführt, dass es zu einer intensiven Schneeschmelze (aufgrund der bereits hohen Temperaturen im Frühling 2021) und gleichzeitig einsetzenden Regenniederschlägen kam. Dies führte zu hohen Bewegungsraten. Der Frühling 2021 hat gezeigt, dass das klassische Schema mit Schnee im Winter, Schneeschmelze im Frühling, Regen im Sommer unter den heute herrschenden klimatischen Bedingungen nicht mehr korrekt ist und differenzierter betrachtet werden muss. Das gleichzeitige Auftreten von Schneeschmelze und Regenniederschlägen muss berücksichtigt werden. Bei einer solchen Konstellation können Murgänge mit hohem Wassergehalt ausgelöst werden. Diese Voraussetzungen sind in Szenario F3 berücksichtigt.

In Tabelle 3 sind die F-Szenarien und deren Subsznarien zusammengefasst und nachfolgend detaillierter beschrieben.

Tabelle 3: Murgangvolumen der bei der Überarbeitung 2021 berücksichtigten Subsznarien des Schuttstroms und des Volumenstroms

Szenario	Ausprägung 'klein'	Ausprägung 'gross'	Bericht 2020	
F1	Schuttstrom trocken	150'000 m ³	500'000 m ³	500'000 m ³
F2	Schuttstrom nass	300'000 m ³	750'000 m ³	750'000 m ³
F3	Gleichmässiger Volumenstrom	300'000 m ³	750'000 m ³	nicht beurteilt

F1 – 'trockener' Schuttstrom: Untersucht wurden zwei Ausprägungen – F1_{klein} mit einem Murgang-Volumen von 150'000 m³ und F1_{gross} mit 500'000 m³ Volumen. Beim trockenen Schuttstrom wird davon ausgegangen, dass rund 5 % des Sturzmaterials (Sturzscenario S3 - Sturzkaskaden mit 3 Mio m³ und S5 – Sturzkaskaden mit 8 Mio m³) in einen Murgang umgewandelt werden. Aufgrund des geringen Wasseranteils ist die Reichweite des Murgangs beschränkt und die Ablagerung erfolgt bereits bei einer Gerinneneigung von etwa 15 %.

F2 – 'nasser' Schuttstrom: hier wurden die Ausprägungen F2_{klein} mit 300'000 m³ und F2_{gross} mit 750'000 m³ untersucht. Beim nassen Schuttstrom ist der Wasseranteil in der Sturzmasse deutlich höher als bei den F1-Szenarien. Es wird davon ausgegangen, dass 10% der Sturzmasse (Sturzzenarien S3 und S5) als Murgang weiterfliessen. Die hier gewählten 10 % stellen eine grobe Schätzung dar, in Analogie zum Ereignis in Bondo (auch wenn bekannt ist, dass es sich hier nicht um die genau gleichen zu erwartenden Prozessketten handelt und in dem Schuttstrom dort vermutlich auch ein Teil Eis vorhanden war). Es ist nicht auszuschliessen, dass auch grössere Mengen als die angenommenen 10 % direkt weiterfliessen können. Dies würde dann eher dem weiterfliessenden Primärprozess entsprechen; die entsprechenden Reichweiten und Ausbreitungen sind im Primärprozess abgebildet (siehe auch Bericht Primärprozess [8]). Im Moment werden deshalb grössere Anteile die als Murgang weiterfliessen als die hier ausgewiesenen, als wenig wahrscheinlich interpretiert und entsprechend so nicht weiterverfolgt.

F3 – Volumenstrom: Im Gegensatz zu den Schuttströmen, welche nach einem grösseren, eher kompakten Absturz von Gesteinsmaterial auftreten können, findet beim Volumenstrom ein förderbandähnliches Abstürzen und Weiterfliessen statt. Ein Beispiel dafür sind die Murgänge im Val Parghera (GR, 2013) oder jener im Saastal (Obergoms, 1987). Das Szenario F3 stellt eine mögliche Ausprägung eines Murgangereignisses dar, welches bei einer sehr starken Wassersättigung der Sturz-/Rutschmasse zu erwarten ist, wie sie durch eine Situation mit Schneeschmelze und gleichzeitigen Regen-Niederschlägen entstehen kann. Dabei entwickelt sich aus der abstürzenden/abrutschenden Gesteinsmasse am Spitze Stei direkt ein Murgang. Aufgrund des hohen Wasseranteils kommt es zu einem volumenstromartigen (förderbandartigen) Abfliessen. Diese Murgänge können aufgrund der stetigen Nachlieferung von Gesteinsmaterial vom Spitze Stei grosse Volumen aufweisen und haben aufgrund des hohen Wasseranteils grosse Reichweiten. Es wird davon ausgegangen, dass etwa 10% einer solchen Sturzmasse als Murgang weiterfliessen kann. Die hier gewählten 10 % stellen eine grobe Schätzung dar, in Analogie zum Ereignis in Bondo (auch wenn bekannt ist, dass es sich hier nicht um die genau gleichen zu erwartenden Prozessketten handelt und in dem Schuttstrom dort vermutlich auch ein Teil Eis vorhanden war). Es ist nicht auszuschliessen, dass auch grössere Mengen als die angenommenen 10 % direkt weiterfliessen können. Dies würde eher dem weiterfliessenden Primärprozess entsprechen; die entsprechenden Reichweiten und Ausbreitungen sind im Primärprozess abgebildet. Im Moment werden deshalb grössere Anteile als die hier ausgewiesenen als wenig wahrscheinlich interpretiert und entsprechend so nicht weiterverfolgt.

Folgende Voraussetzungen sind für die Entstehung der verschiedenen F-Szenarien notwendig:

- Abbruchvolumen von mindestens 3 Mio m³ (ergibt kleine Ausprägung Murgang) bis 8 Mio m³ (ergibt grosse Ausprägung Murgang).
- Abstürzende Masse muss genügend Wasser enthalten (infiltrierter Niederschlag, Schneeschmelze oder Eis in der Sturzmasse) oder sie muss Wasser beim Aufprall aus dem Untergrund durch Auspressen aufnehmen können.
- Sturzmasse muss einen hohen Feinanteil aufweisen, damit das Wasser in der Masse beim Aufprall nicht zu stark entwässert.
- Der Sturzprozess muss für die F1- und F2-Szenarien 'en bloc' erfolgen, damit ein allfälliges Auspressen von Wasser aus dem Untergrund aufgrund der grossen Auflast möglich ist. Bei kontinuierlichen Abstürzen ist das Gewicht zu gering (kein Auspressen von Wasser) und es ergibt sich eine für die Murgangentstehung ungünstigere, flachere Form des Ablagerungskörpers.
- Für das Eintreten des Szenarios 'Volumenstrom' (F3) ist ein Abgleiten der Sturzmasse in kleinen Schollen notwendig. Nur durch eine kontinuierliche Nachlieferung von Sturzschutt kann ein 'fliessbandartiges' Abfliessen des Geschiebes erfolgen.

Für das Weiterfliessen als Murgang werden hier nur beschränkte Mengen angenommen. Bei grossen Volumen kann nicht mehr zwischen einem eigentlichen Sturzprozess und einem Murgang unterschieden werden. Diese Prozesse sind im Primärprozess abgebildet.

5.3 Murgänge aus Sturzablagerungen - Szenarien mit hohen Abflüssen (A- und B-Szenarien)

Szenarien mit hohen Abflüssen sind nur zu erwarten, wenn es zu einem starken Aufstau des Oeschinensees mit anschliessendem Durchbruch des Dammes und dem Ausfliessen des Oeschinensees kommt, bzw. wenn grössere Volumen aus diesem Damm ausfliessen.

Voraussetzungen für A-Szenarien

Die Untersuchungen von Köpfler et al (2018) [21] beschreiben den Aufstau des Oeschinensees als Folge von zwei grossen, prä-historischen Bergsturzereignissen vom Fisistock, bzw. vom Spitze Stei. Dabei bildeten sich im Bereich der Sattelzone (heutiges westliches Seeufer) durch die Bergsturzablagerung ein mächtiger Damm, der den heutigen Oeschinensee zu stauen vermochte.

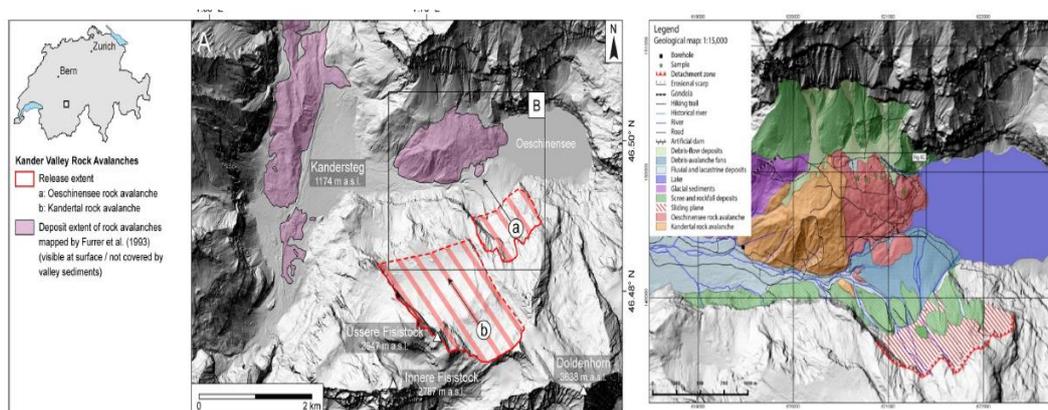


Abbildung 2: Auslöse- Ablagerungsgebiet der prä-historischen Bergstürze vom Fisistock und Spitze Stei. Quelle: Köpfl et al. (2018) [21]

Eine Studie von Knapp et al. (2018, [20]) konnte zeigen, dass in den letzten etwa 2500 Jahren etwa 11 grössere Felsstürze aufgetreten sind, wovon deren 6 den natürlichen Damm im Holzspicher aufbauen. Ein relativ junges Ereignis (1846) hat vermutlich zu einer Flutwelle geführt, welche die Dammkrone erodierte und einem Seeausbruch verursachte. In Kandersteg wurden Schäden an Kulturland verzeichnet (Bach 1935, [17]).

Eine vergleichbare Situation kann sich wiederum bei einem grossvolumigen Berg- bzw. Felssturz ergeben. Damit es jedoch zu Flutwellenprozessen kommen kann, sind folgende Voraussetzungen notwendig:

- Abbruchvolumen von etwa 3 Mio m³ oder Wassereintrag in den Oeschinensee durch Niederschläge, Bäche, Schmelzwasser, der grösser ist als der (verbleibende) Seeabfluss.

Niklaus (1967; [22]) schreibt, dass die Jahresabflussmenge aus dem Oeschinensee den Wert von 30 Millionen m³ kaum übersteigt. Im Mittel dürfte der Wert rund 25 Millionen m³ betragen (Niklaus, Seite 36). Bei etwa 22 km² Einzugsgebietsfläche würden die Jahresabflussmenge von 30 Mio m³ etwa einem mittleren Jahresniederschlag von 1300 mm entsprechen. Gemäss dem hydrologischen Atlas beträgt der Jahresniederschlag etwa 1600-1800 mm. Bei einer angenommenen Verdunstung von 100 bis 200 mm (Hydrologischer Atlas [29]) ergibt sich lediglich eine Differenz von etwa 300 mm.

- Kollaps der heute bestehenden Fliesswege im Untergrund, so dass ein Aufstau von Wasser überhaupt möglich ist.

Untersuchungen von Niklaus (1967; [22]) zeigen, dass der Oeschinensee mehrere unterirdische Abflusswege aufweist, welche alle im Gebiet Holzspicher und Schattwald an die Oberfläche kommen. Niklaus (1967) hat diese kartiert (Abbildung 3)

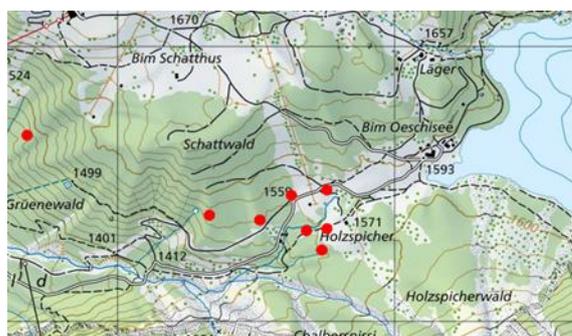


Abbildung 3: Quellen festgestellt und kartiert von Niklaus (1967), übertragen auf die heutige Karte.

- Sturzablagerung genügend feinkörnig, damit Wasser aufgestaut werden kann. Gemäss Aussagen des Bearbeitungsteams der Primärprozesse (Sturzprozesse), sind diese Voraussetzungen aufgrund der vorliegenden Geologie gegeben.

Ebenfalls der Gruppe der Murgänge aus Sturzablagerungen wurde das **Szenario B** zugeordnet. Hierbei handelt es sich um ein Szenario, bei welchem Murgänge durch rückschreitende Erosion in der Sturzablagerung entstehen können. Vom Erosionsvolumen her sind sie vergleichbar mit dem Szenario Gerinnemurgang E4. Sie unterscheiden sich jedoch dadurch, dass die Sättigung der instabilen Masse nicht nur durch Niederschlagswasser erfolgen kann, sondern auch durch unterirdische Wasserflüsse vom aufgestauten See her (piping).

Voraussetzungen für B-Szenarien:

- Mächtige Ablagerung in der Sattelzone; verursacht durch ein Sturz-/Rutschereignis von mindestens 8 Mio. m³.

- eher feinkörnige Materialzusammensetzung in der Sturzablagerung. In einer grobkörnigen, respektive blockigen Ablagerungsmasse würde es kontinuierlich zu Wasserverlusten kommen. Die Wahrscheinlichkeit einer Murgangauslösung würde sich dadurch stark verringern.
- genügende Durchnässung der Ablagerungsmasse
- steile talseitige Flanke der Ablagerungsmasse; Neigung muss im Bereich von $> 30^\circ$ liegen (Erfahrungswerte aus [39])

6 Resultate Wirkungsflächen

Als Wirkungsflächen werden diejenigen Flächen bezeichnet, welche durch die Prozesse eines bestimmten Szenarios betroffen sind. In den Wirkungsflächen sind sämtliche bestehenden Schutzbauten (Damm Zilfuri, Damm Oeschwald, Murgangnetz) berücksichtigt.

Die Abgrenzung der Wirkungsflächen und die Festlegung der erwarteten Intensitäten in den Wirkungsflächen wurden anhand verschiedener methodischer Ansätze vorgenommen (siehe Kapitel 3.3). Die Anwendung und Gegenüberstellung verschiedener Ansätze gewährleistet die Robustheit der Resultate.

Für die Beurteilung der Einwirkungen (Intensitäten) auf diesen Flächen wurde dieselbe dreistufige Skala gewählt wie bereits für die Beurteilungen 2020 [12].

Tabelle 4: Bewertungsschema der Einwirkungen

Stufe	Einwirkung	Quantifizierung
1	geringe Einwirkung	Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fliessgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm kann in Gebäude eindringen
2	mittlere Einwirkung	Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fliessgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude können beschädigt werden
3	starke Einwirkung	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fliessgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude können zerstört werden

Die Angaben zu Beschädigung und Zerstörung von Gebäuden beziehen sich auf Gebäude mit starker Bausubstanz. Bei einfachen Konstruktionen mit schwächeren Ausführungen (z.B. Holz, Materialwechsel) sind bereits bei kleineren Einwirkungen Beschädigungen oder Zerstörung möglich.

Der Vollständigkeit halber werden hier nochmals die wichtigsten Punkte bezüglich der Festlegung der Wirkungsflächen aus dem Bericht 2020 [12] aufgeführt.

Darstellungsgenauigkeit der Wirkungsflächen: In den Karten sind eindeutige Grenzlinien von einem Bereich (dunkelviolet, violett, rosa) gezeichnet. Bei einem Ereignis werden diese Bereiche jedoch kontinuierlich und nie eindeutig vorhersagbar sein. Dies muss bei der Interpretation der Karten berücksichtigt werden.

Als eine wesentliche Voraussetzung wird davon ausgegangen, dass im bestehenden Ablagerungsraum (GAP) die gesamte Kapazität zur Verfügung steht. Falls diese Kapazität nicht zur Verfügung steht, muss mit wesentlich stärkeren Ausuferungen gerechnet werden. Bei den Szenarien E1 bis E3 wird von mehreren Ereignissen pro Jahr ausgegangen. Treten diese Murgang-Ereignisse in kurzer Abfolge auf und der Geschiebeablagerungsraum konnte vorgängig nicht geräumt werden, muss auch hier mit stärkeren Ausuferungen gerechnet werden.

Darstellung Wirkungsbereich aller Prozesse (Primär-, Sekundär- und Tertiärprozesse): In den hier dargestellten Karten sind nur die Wirkungsflächen der Murgänge (Sekundärprozesse) dargestellt. Die Ablagerungsbereiche der Sturzereignisse sowie die Überflutungsbereiche des Unterlaufs Oeschibach und der Kander sind darin nicht enthalten. Die Flächen aller Prozesse sind in der Karte der Gefährdungsgebiete für die Planungszone enthalten.

Wirkungsbereiche als Prozessumhüllende: Die in den Faktenblättern dargestellten Wirkungsflächen sind als Prozessumhüllende dargestellt und beinhalten verschiedene Ausprägungen eines Szenarios. Es ist im einzelnen Fall möglich, dass die gesamte Fläche gleichzeitig durch den jeweiligen Prozess betroffen sein kann. Dies trifft insbesondere für die A- und die F-Szenarien zu.

Qualität einzelner Parameter: Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten bei der Bestimmung der Ausgangsbedingungen (Volumen, Materialzusammensetzung, Wassergehalte, usw.) und des konkreten Ereignisablaufes, ist bei verschiedenen Parametern die Abschätzung schwierig. Entsprechend sind die Angaben nicht als exakte Werte, sondern als Grössenordnung aufzufassen. Dies betrifft unter anderen die Fliessgeschwindigkeit, die Abflussspitzen oder die Erosionsvolumen.

6.1 Wirkung der Schutzbauten

Die bestehenden Schutzbauten wurden bei der Ausscheidung der Wirkungsflächen berücksichtigt (Stand digitales Höhenmodell vom 28. Juni 2021).

- Damm Zilfuri grösstenteils auf Höhe 5 m ausgebaut (Ende 2020 Dammhöhe 3 m)
- Damm Oeschwald auf Höhe 3 m ausgebaut (Ende 2020 Dammhöhe 3 m)
- Dämme GAP, unterster Teil 2021 fertiggestellt, Höhen 2.5 – 4 m (Ende 2020 keine Massnahmen vorhanden, jedoch berücksichtigt in den Wirkungsflächen 2020)
- Einbau Murgangnetz im GAP-Abschluss (Fertigstellung Oktober 2021). Der Einbau des Murgangnetzes im GAP-Abschluss führte zu einer Erhöhung des Ablagerungsvolumens im GAP auf 150'000 – 200'000 m³ (2020 Ablagerungsvolumen 30'000 - 50'000 m³); es wurde davon ausgegangen, dass dieses Volumen jeweils zur Verfügung steht.

Die Wirkung der Schutzbauten wurden mit Simulationen belegt. Durch die Leit- und Rückhaldedämme und den GAP-Abschluss ergeben sich die folgenden Wirkungen:

- **Deutliche Wirkungen** bei den B- und den E-Szenarien, sowie dem F1-Szenario. Sowohl beim B-Szenario als auch beim E4- und F1-Szenario sind unterhalb des GAPs gewisse Ausuferungen und Übersarung zu erwarten (Verschwemmen von Sedimenten).
- **Gute Wirkung** bei den kleinen Ausprägungen der F2- und F3-Szenarien (Schutt-/Volumenstrom). Hier sind die Schutzdämme bei kleiner Ausprägung sehr wirksam, allerdings mit deutlichen Übermurungen und Übersarungen im Unterlauf des Oeschibaches (Abbildung 4).
- **Beschränkte Wirkung** bei den grossen Ausprägungen der F2- und F3-Szenarien. Hier können die Schutzdämme lenken, aber ein Ausbrechen nicht verhindern.
- **Keine relevante Wirkung** bei den Flutwellenszenarien A1 – A4

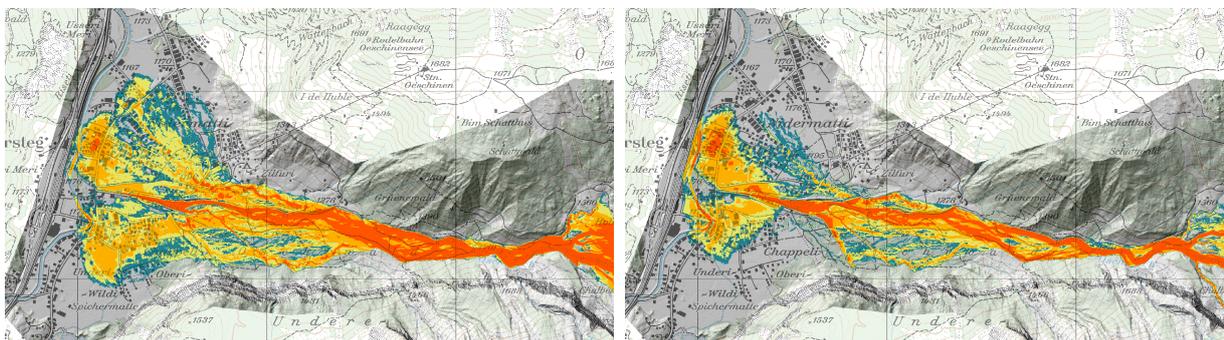


Abbildung 4: Darstellung der Wirkung der Schutzdämme: Simulation eines F3-Szenarios (klein; 300'000 m³) mit dem Modell RAMMS (μ 0.03, Xi 200).

6.2 Reichweite und Ausbreitung von Murgängen

Die Abgrenzung der Wirkungsflächen basiert auf der Analyse der Reichweite und Ausbreitung der Murgangprozesse. Jedes betrachtete Szenario verfügt aufgrund der Auslösebedingungen (Verfügbarkeit von Wasser), des Startorts, des Startprozesses, sowie der Geschiebeverfügbarkeit und Geschiebeaufnahme über unterschiedliche Eigenschaften, welche sowohl die Reichweite als auch die Ausbreitung steuern. Im Rahmen der Überarbeitung wurden für alle Szenarien und Sub-Szenarien die Ausprägungen überprüft. Dies betrifft sowohl die Gebiete oberhalb als auch innerhalb des GAP.

Als Neuerung gegenüber 2020 wurden Reichweite und Ausbreitung mit den Modellen RAMMS und Flow-R simuliert. Die für die Simulationen verwendeten Parameter μ und m/d basieren auf den Referenzwerten aus [42]. Die Resultate wurden auf Plausibilität überprüft, z.B. mit dem k_B – Wert [9]. Eine direkte Kalibrierung des Modells, respektive der Modellparameter, war aufgrund fehlender Ereignisse nicht möglich.

Ein spezielles Augenmerk wurde auf die Überlastung des Oeschibach-Gerintes unterhalb des Netzes (bei hohen Abflüssen mit hohem Geschiebetrieb) gerichtet. Detaillierte Angaben zum fluvialen Verhalten des Oeschibachgerintes unterhalb des GAP sind in den Berichten zu den Tertiärprozessen zu finden.

6.3 Beurteilung Eintretenswahrscheinlichkeiten

Jeder Prozessablauf, bzw. jedes Szenario kann mit einer bestimmten Eintretenswahrscheinlichkeit erwartet werden. Die Eintretenswahrscheinlichkeit ist dabei abhängig von der Wahrscheinlichkeit des Eintretens verschiedener Voraussetzung, die für eine Prozessauslösung gegeben sein müssen. Sowohl die Primärprozesse als auch die Sekundärprozesse weisen eine eigene Eintretenswahrscheinlichkeit auf. Diese müssen nicht identisch sein, sie sind aber voneinander abhängig und müssen für die Bestimmung der Gesamtwahrscheinlichkeit miteinander in Bezug gesetzt werden.

6.3.1 Vorgehen zur Bestimmung der Prozesswahrscheinlichkeiten

Die Eintretenswahrscheinlichkeiten für die Szenarien der Primärprozesse (Sturz- und Rutschprozesse) wurden durch die GEOTEST AG [7] bestimmt. Für die Berechnung der Gesamtwahrscheinlichkeiten wurden diese Angaben übernommen. Beurteilt wurde die Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein bestimmtes Szenario in den nächsten 10 Jahren erwartet wird. Bei den Sekundärprozessen wurde in einem ersten Schritt die Wahrscheinlichkeit des Eintretens innerhalb eines Jahres beurteilt und anschliessend auf die 10-Jahres Betrachtung umgerechnet.

Die Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit der Sekundärprozesse erfolgte über die Bewertung einzelner Voraussetzungen, welchen jeweils eine spezifische Wahrscheinlichkeit für jedes Szenario bzw. Sub-Szenario zugeordnet wurde. Alle Voraussetzungen werden mit derselben Gewichtung berücksichtigt (siehe Berechnungsbeispiel unten). Die jeweiligen Werte sind für die Szenarien bzw. Sub-Szenarien in den Faktenblättern im Anhang angegeben. Hier folgt eine kurze Übersicht der berücksichtigten Voraussetzungen und Parameter:

Meteorologische Voraussetzungen: Voraussetzung, dass genügend Wasser aus Niederschlag, Schneeschmelze oder Schneeschmelze zusammen mit Niederschlägen vorhanden ist, um die Ablagerungsmasse so weit zu sättigen, dass eine Murgangauslösung möglich ist.

- Jährliche Niederschlagsmengen (vgl. Abschnitt 5.3)
- Füllzeit des gestauten Oeschinensees: eine längere Füllzeit reduziert die Wahrscheinlichkeit eines Dammbrochs, da sich das Sturzmaterial setzen kann [40].
- Niederschlag aus Regenereignissen
- Kombination aus Niederschlag und Schneeschmelze
- Schneeschmelze: In sehr speziellen Fällen können Murgänge entstehen, welche nur durch Schmelzwasser ausgelöst werden. In unseren Breitengraden ist dies wenig wahrscheinlich und wurde so für grosse Ereignisse noch nicht beobachtet; in ariden Gebirgsregionen ist dieser Fall aber ein häufiges Phänomen. Er wird hier nicht weiter in Betracht gezogen.

Hydrogeologische Voraussetzungen: Voraussetzung, dass genügend Wasser in der Ablagerungsmasse ist, um einen Fliessprozess zu ermöglichen oder keine Fliesswege in der Sturzablagung ausgebildet werden, respektive bestehende Fliesswege im Untergrund durch die Sturzmasse zerstört werden.

- Bestehende Fliesswege im Untergrund können durch die Auflast der abgestürzten Masse unterbrochen, respektiver zerstört werden (Parameter ist v.a. für die A-Szenarien relevant).
- Wassergängigkeit in der Sturzablagung (Ausbildung von Fliesswegen würden die Wahrscheinlichkeit der Auslösung von Murgängen reduzieren)
- Wassergehalt in der Sturzablagung
- Wasser, das aus dem Untergrund ausgepresst werden kann und somit für eine weitere Sättigung zur Verfügung steht (Parameter ist vor allem für die F-Szenarien relevant).

Untersuchungen der GEOTEST haben ergeben, dass die steilen Schutthalten im Holzspicherwald nicht wassergesättigt sind.

Die Untersuchungen von Niklaus (siehe Abschnitt 5.3) zeigen, dass mehrere unterirdische Abflusssysteme bestehen müssen, welche im Bereich Holzspicher an die Oberfläche kommen. Es kann deshalb angenommen werden, dass im Bereich Holzspicher verschiedene Wasserwege in geringer Tiefe vorhanden sein müssen.

Morphodynamische/morphogenetische Voraussetzungen: Voraussetzung, dass die Ablagerungsmasse eine murgangfördernde Geometrie (steil/flach, als Folge des Aufbaus durch Einzelpaketen oder 'en bloc') aufweist und/oder die Lage der Sturzablagung ein Fliessen Richtung Kandersteg begünstigt.

- Dammbrochwahrscheinlichkeit (gemäss [40]). Bei den Überlegungen wird davon ausgegangen, dass das notwendige Stauvolumen im Oeschinensee in einem Jahr erreicht wird (A-Szenarien). Sollte der Damm ein Jahr überstehen, nimmt die Wahrscheinlichkeit eines späteren Kollapses deutlich ab.
- Lage und Form der Sturzablagung, damit sich ein Damm aufbauen kann: insbesondere relevant für A1-A3 Szenarien
- steile Flanken in der Sturzablagung: Ein steiler Aufbau der Ablagerungsmasse fördert die Murgangentstehung (relevant für Szenario B). Dies ist eher der Fall bei einem Einzelabsturz, bei dem die gesamte Masse innert kurzer Zeit abstürzt. Viele kleine Abstürze fördern eher eine flache Ausbildung der Sturzablagung.

- Paketweiser Aufbau Sturzablagerung (Sturmzone tritt in Einzelpaketen auf/Ablagerung Sturmzone en bloc (Grossteil der Sturmzone stürzt auf einmal ab): insbesondere relevant für Szenario F3
- Fliessrichtung/Sturzrichtung Richtung Kandersteg

Lesebeispiel zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit am Beispiel des Szenarios F2_{gross}

Tabelle 5: Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeiten am Beispiel des Szenarios F2_{gross}

Voraussetzungen	Beschreibung	Wahrscheinlichkeit
Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass genügend Wasser aus Niederschlag oder Schneeschmelze vorhanden ist. Die Voraussetzung bezieht sich nicht auf die Auslösung der Rutschung/des Sturzes vom Spitze Stei, sondern auf die Umwandlung des Sturzprozesses in einen Murgang. Die Szenarien F2 _{gross} wird bei nassen Verhältnissen erwartet. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese meteorologischen Voraussetzungen erfüllt sind, liegt bei 40%.	40 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die potenzielle Murgangmasse genügend Wasser aufzunehmen vermag, damit es zu einem Fliessprozess kommt. Dies ist abhängig von der Kornzusammensetzung.	80 %
	Wahrscheinlichkeit, dass Wasser aus dem Untergrund ausgepresst wird und die Mobilität weiter erhöht. Die Wahrscheinlichkeit wird gegenüber den F1-Szenarien als leicht höher eingestuft, da auch im Untergrund aufgrund der nassen Verhältnisse mehr Wasser vorhanden ist.	40 %
Morphodynamische / morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturmzone in grossen Einzelpaketen abstürzt und nicht en bloc. Bei einem en bloc Sturz ist die Wahrscheinlichkeit einer genügenden Wassersättigung geringer. Gemäss Aussagen GEOTEST ist ein paketweises Abstürzen wahrscheinlicher.	50 %
	Wahrscheinlichkeit, dass die Hauptfliessrichtung Richtung Kandersteg verläuft.	80 %
Gesamtwahrscheinlichkeit	<i>Berechnung: $0.4 \times (0.8 \times 0.4) \times (0.5 \times 0.8) = 0.051$ (entspricht jährlicher Eintretenswahrscheinlichkeit)</i>	5.1 %
<i>Wahrscheinlichkeit des Eintretens von F2_{gross} innerhalb der nächsten 10 Jahre:</i>		51 %

Eintretenswahrscheinlichkeit Primärprozess x Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozesses = Gesamtwahrscheinlichkeit

$$33 \% (\text{Sturzscenario S5, 8 Mio m}^3) \times 51 \% (\text{Szenario Schuttstrom F2}_{\text{gross}}) = 17 \%$$

Die Angaben zu den Eintretenswahrscheinlichkeiten der Voraussetzungen der Primärprozesse sind in den Faktenblättern im Anhang für alle Szenarien detailliert aufgeführt.

6.3.2 Bestimmung der Gesamtwahrscheinlichkeit

Die Bestimmung der Gesamtwahrscheinlichkeit erfolgte durch eine Multiplikation der Eintretenswahrscheinlichkeiten der Primär- und Sekundärprozesse. Dies ist möglich, da jedem Szenario der Sekundärprozesse ein Szenario der Primärprozesse voraus geht.

Nachfolgende Tabelle zeigt die jeweiligen Eintretenswahrscheinlichkeiten der Prozessgruppen und die daraus resultierende Gesamtwahrscheinlichkeit.

Die Sturzscenario R3 Rutschung Frontbereich Ost bis 0.2 Mio. m³) und S7 (Komplettabsturz Bereich Ost 3 Mio. m³) wurden für die Sekundärprozesse nicht separat betrachtet, da sie bereits in den Sturzscenario R1/S1 (R1 - Rutschung aus Westflanke, resp. Felssturz aus Zentrum/Gipfel, beide bis 0.2 Mio m³) und S3 (Mehrere grosse Stürze, bis 3 Mio m³) enthalten.

Die in Tabelle 6 angegebenen %-Werte geben an, wie oft ein entsprechendes Szenario innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 10 Jahren auftreten könnte. Werte über 100 % bedeuten, dass das Szenario mehr als 1x in den nächsten 10 Jahren möglich ist. Bei Werten unter 100 % wird das Szenario seltener als 1x in 10 Jahren erwartet.

Bei den Sekundärszenarien mit jeweils zwei möglichen Ausgangsszenarien der Primärprozesse, wurde für die Festlegung der Gefährungsgebiete der jeweils höhere Wahrscheinlichkeitswert berücksichtigt (Wahl auf der sicheren Seite).

Tabelle 6: Prozessspezifische Eintretenswahrscheinlichkeiten und Gesamtwahrscheinlichkeit in %, bei einem Betrachtungshorizont von 10 Jahren.

Primärprozess Szenario		Sekundärprozess Szenario		Gesamtwahrscheinlichkeit in 10 Jahren
	[%] in 10 J.		[%] in 10 J.	
S3, bis 3 Mio m ³	40 %	A1-kleine Flutwelle	10 %	4 %
S5, bis 8 Mio m ³	33 %	A2-mittlere Flutwelle	9 %	3 %
S6, 20 Mio m ³	5 %	A3-grosse Flutwelle	6 %	0.3 %
S4, Staubbach bis 1.5 Mio m ³	23 %	A4-Flutw. Holzspicher	14 %	3 %
S5, bis 8 Mio m ³	33 %	B-Erosion in Sturzablagerung	10 %	3 %
R1, S1, 0.2 Mio m ³	97 %	E1-Gerinnemurgang	200%	194 %
S4, Staubbach bis 1.5 Mio m ³	23 %	hochwasser-arme Jahre		46 %
R1, S1, 0.2 Mio m ³	97 %	E2-Gerinnemurgang	600%	582 %
S4, Staubbach bis 1.5 Mio m ³	23 %	Normaljahre		138 %
R1, S1, 0.2 Mio m ³	97 %	E3-Gerinnemurgang	200 %	194 %
S4, Staubbach bis 1.5 Mio m ³	23 %	hochwasser-reiche Jahre		46 %
R2, 0.6 Mio m ³	55 %	E4-Gerinnemurgang	122 %	67 %
S4, Staubbach bis 1.5 Mio m ³	23 %	Einzelereignis		28 %
S2, 1 Mio m ³	65 %	E4-Gerinnemurgang	122 %	79 %
S4, Staubbach bis 1.5 Mio m ³	23 %	Einzelereignis		28 %
S3, bis 3 Mio m ³	40 %	F1 _{klein} -Schuttstrom trocken	28 %	11 %
S5, bis 8 Mio m ³	33 %	F1 _{gross} -Schuttstrom trocken	90 %	30 %
S3, bis 3 Mio m ³	40 %	F2 _{klein} -Schuttstrom nass	24 %	10 %
S5, bis 8 Mio m ³	33 %	F2 _{gross} -Schuttstrom nass	51 %	17 %
S3, bis 3 Mio m ³	40 %	F3 _{klein} -Volumenstrom	39 %	16 %
S5, bis 8 Mio m ³	33 %	F3 _{gross} -Volumenstrom	39 %	13 %

In einem weiteren Schritt wurde die quantitativen Wahrscheinlichkeiten den bestehenden qualitativen Wahrscheinlichkeits-einstufungen der Sekundärprozesse aus dem Bericht 2020 [12] gegenübergestellt.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der qualitativen und quantitativen Eintretenswahrscheinlichkeiten. Die quantitativen Eintretenswahrscheinlichkeiten wurden für den Betrachtungshorizont von 10 Jahren angegeben.

Eintretenswahrscheinlichkeit qualitativ (Bericht 2020)	Eintretenswahrscheinlichkeiten quantitativ in 10 Jahren	Gesamtwahrscheinlichkeit Szenarien Sekundärprozesse 2021
sehr wahrscheinlich	> 30 %	alle E-Szenarien
wahrscheinlich	30 % – 10 %	F1 _{klein} , F1 _{gross} , F2 _{gross} , F3 _{klein} , F3 _{gross}
möglich	10 % – 5 %	F2 _{klein}
wenig wahrscheinlich	< 5 %	A1 – A4, B

Abbildung 5 zeigt in graphischer Form die Bewertung der Eintretenswahrscheinlichkeiten:

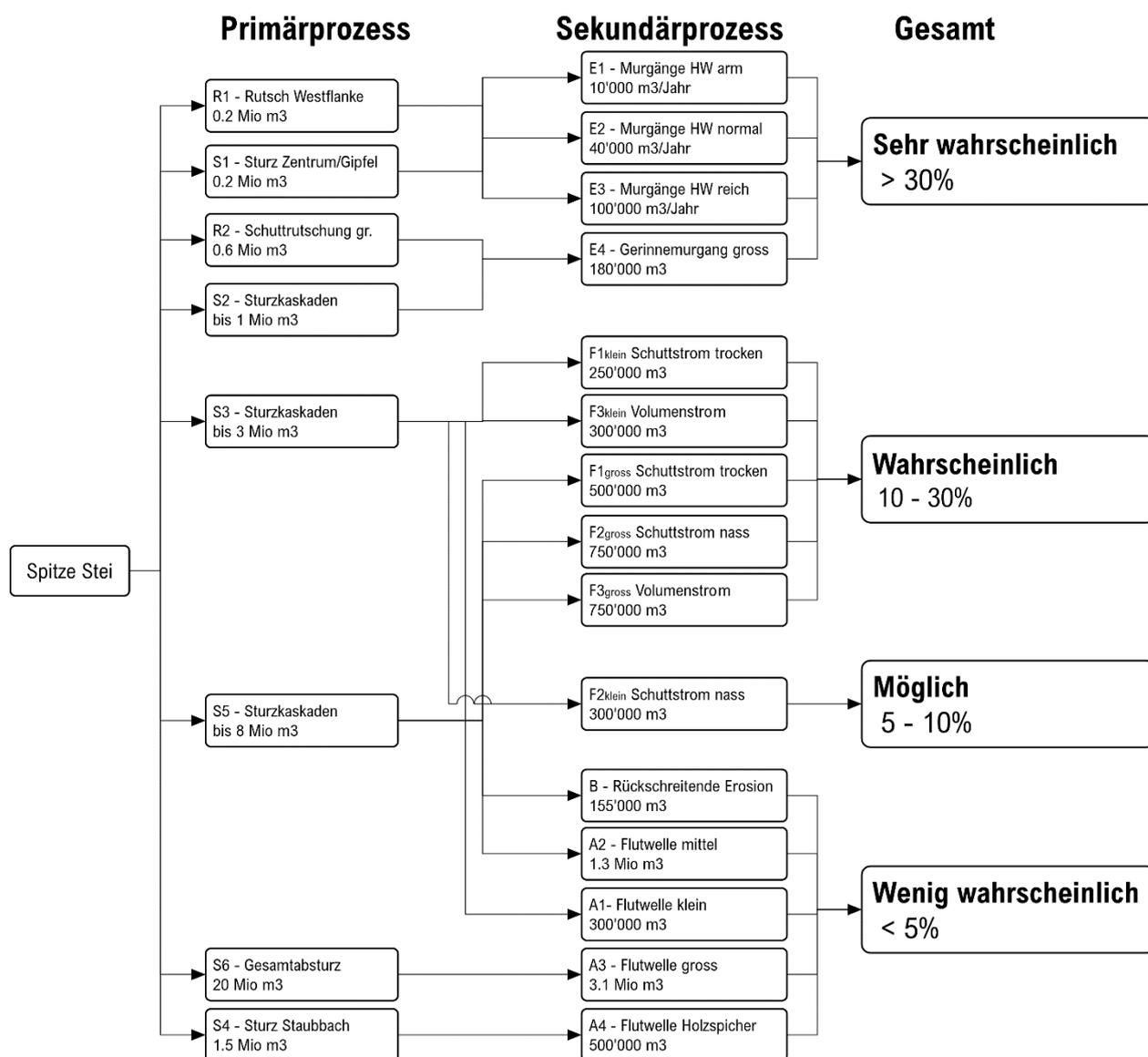


Abbildung 5: Beurteilung der Eintretenswahrscheinlichkeiten aus der Kombination der Eintretenswahrscheinlichkeiten der Primär- und der Sekundärprozesse. Der Betrachtungshorizont beträgt 10 Jahre.

7 Festlegung Gefährdungsgebiete

Die Gefährdungsgebiete zeigen, wo im Raum mit welcher Eintretenswahrscheinlichkeit und mit welchen Einwirkungen zu rechnen ist. Die Festlegung der Gefährdungsgebiete erfordert somit Angaben zur Häufigkeit (Wahrscheinlichkeit innerhalb von 10 Jahren), mit welcher ein bestimmter Ereignisablauf (Szenario) erwartet wird und Angaben zu den erwarteten Einwirkungen (Fließhöhen, Ablagerungshöhen, Fließgeschwindigkeiten).

Grundlage zu den Einwirkungen liefern die **Wirkungsflächen**. Sie zeigen pro Szenario, welche Gebiete betroffen sind und mit welchen Prozesseinwirkungen auf diesen Flächen zu rechnen ist. Die hier ausgewiesenen Gefährdungsgebiete beinhalten die Wirkungsflächen des Primär-, Sekundär- und Tertiärprozesses (Karte einsehbar auf der Webseite der Gemeinde).

Die Angaben zu den **Eintretenswahrscheinlichkeiten** wurden ebenfalls Szenarien-bezogen und unter Berücksichtigung der gesamten Prozesskette (Primär-, Sekundärprozess, siehe Kapitel 6.3, sowie Tertiärprozess), festgelegt.

Die Umsetzung der Wirkungsflächen in die Karte der Gefährdungsgebiete erfolgte nach dem Schema in Abbildung 6. Das Schema ist analog zum Gefahrenstufendiagramm der Gefahrenkarte aufgebaut und liefert für jede Einwirkungsklasse (gering, mittel, stark) und jede Eintretenswahrscheinlichkeit (hoch, mittel, gering, sehr gering) die entsprechende Gefährdungsstufe.

Die Diagonalen im Diagramm der Gefährdungsgebiete wurden analog den Feldern 2, 4 und 6 bei den Wirkungsflächen gehandhabt. Es wurden die folgenden Kriterien angewendet:

- Bei Wirkungsflächen mit Einstufung nahe an einer Diagonale wurde bei Szenarien mit mittlerer Einwirkung (Felder 6 und 4) die jeweils kritischere Gefährdungsstufe gewählt. Der Grund dafür besteht darin, dass bei mittleren Einwirkungen (Intensitäten) von Murgangprozessen ausgegangen werden muss. Diese rechtfertigen die höhere Einstufung.
- Bei Wirkungsflächen nahe der Diagonale im Bereich der schwachen Einwirkung (Feld 2), wurde die geringere Gefährdungsstufe gewählt, da es sich hier eher um Übersarungs- und Überflutungsprozesse handelt. Diese Annahmen werden auch durch die Modellresultate gestützt, die auf diesen Flächen geringe Ablagerungshöhen aufweisen.

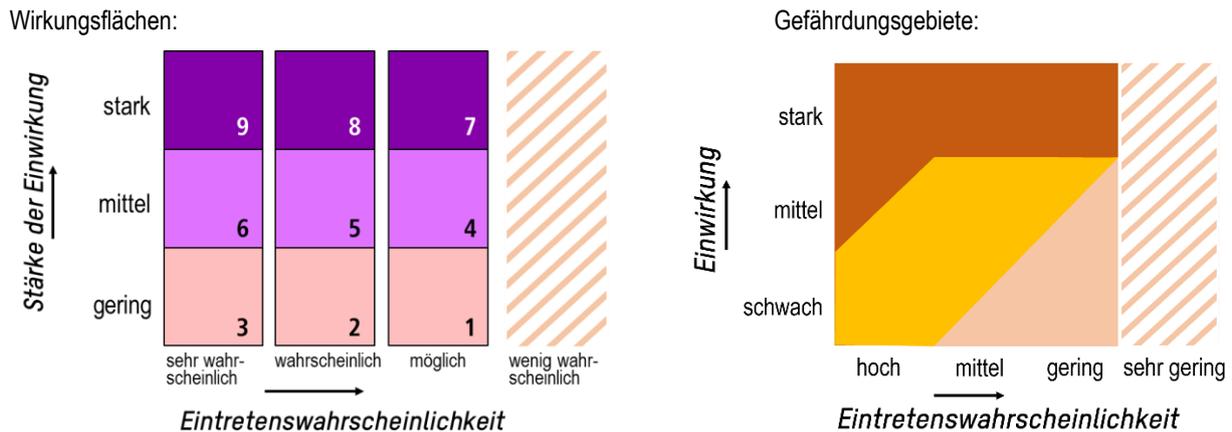


Abbildung 6: Umsetzung Einwirkungen in Gefährdungsstufen Spitze Stei

In den Karten der Gefährdungsgebiete wurden die Angabe zur Wahrscheinlichkeit, in Anlehnung an die Terminologie für die Gefahrenkarte, mit 'hoch', 'mittel', 'gering', 'sehr gering' angegeben. Dabei entsprechen diese 4 Begriffe den hier für die Wirkungsflächen verwendeten: sehr wahrscheinlich = hoch, wahrscheinlich = mittel, möglich = gering, wenig wahrscheinlich = sehr gering.

Die Gefährdungsstufen sind vergleichbar mit den Gefahrenstufen der Gefahrenkarte. Sie sind wie folgt festgelegt:

Tabelle 8: Bewertungsschema der Einwirkungen

Stufe	Gefährdungsgebiete	Vorgaben nach Art. 6 Baugesetz und Gemeindebaureglement
1	Gefährdungsgebiet 1, erhebliche Gefährdung	In Gebieten, in welchen Leben und Eigentum erfahrungsgemäss oder voraussehbar durch Steinschlag, Rutschungen, Lawinen, Überschwemmungen oder ähnliche Naturereignisse erheblich bedroht sind (rote Gefahrenggebiete), dürfen keine Bauten und Anlagen errichtet oder erweitert werden, die dem Aufenthalt von Mensch und Tier dienen. Andere Bauten und Anlagen dürfen nur bewilligt werden, wenn sie auf eine Lage im Gefahrenggebiet angewiesen und Menschen, Tiere und erhebliche Sachwerte nicht gefährdet sind. Umbauten und Zweckänderungen sind gestattet, wenn dadurch das Risiko vermindert wird.
2	Gefährdungsgebiet 2, mittlere Gefährdung	In Gefahrenggebieten mit mittlerer Gefährdung (blaue Gefahrenggebiete) dürfen Bauten und Anlagen nur bewilligt werden, wenn mit Massnahmen zur Gefahrenbehebung sichergestellt ist, dass Menschen, Tiere und erhebliche Sachwerte nicht gefährdet sind.
3	Gefährdungsgebiet 3, geringe Gefährdung	In Gefahrenggebieten mit geringer Gefährdung (gelbe Gefahrenggebiete) ist bei besonders sensiblen Bauvorhaben wie beispielsweise Spitälern oder Kläranlagen sicherzustellen, dass Menschen und erhebliche Sachwerte nicht gefährdet sind.
4	Gefährdungsgebiet 4, Restgefährdung	In Gefahrenggebieten mit nicht bestimmter Gefahrenstufe ist diese spätestens im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens zu bestimmen.

8 Zusammenfassung der Veränderungen gegenüber der Erstbeurteilung 2020

Die Überarbeitung der Sekundärprozess im Jahr 2021 hat zu verschiedenen Anpassungen geführt. Im Folgenden sind die wichtigsten Änderungen kurz erläutert.

Primärprozess: Das geologische Modell, welches Angaben zu den möglichen Sturzscenarien liefert, wurde weiter verfeinert. Neu wird auch ein Szenario Staubbach als relevant erachtet, bei dem es zu Abstürzen in den Staubbach kommen kann. Die Eintretenswahrscheinlichkeiten wurden basierend auf den Messungen von 2021 überprüft und neu bewertet. Die Eintretenswahrscheinlichkeit der meisten Szenarien konnte aufgrund der Untersuchungen reduziert werden. Einzig das Szenario S4 – Mehrere grosse Stürze in den Staubbach (bis 1.5 Mio m³) wurde als wahrscheinlicher eingestuft. Zwei neue Szenarien sind hinzugekommen: R3 – Rutschung aus Frontbereich Ost (bis 0.2 Mio m³) und S7 – Komplettabsturz Bereich Ost (3 Mio m³). Die Voraussetzungen aus den Sturzereignissen (Volumen, Prozessablauf, Eintretenswahrscheinlichkeiten) wurden bei der Überarbeitung der Sekundärprozesse berücksichtigt.

Bauliche Veränderungen: Die Dämme Zilfuri und Oeschiwald wurden weiter ausgebaut. Zudem wurde ein Murgangnetz im Abschluss des GAP errichtet. Diese baulichen Veränderungen führen dazu, dass das Ablagerungsvolumen im GAP deutlich erhöht werden konnte, wodurch sich auch der Schutz des Siedlungsgebietes deutlich verbessert.

Szenarien: Die im Jahr 2020 untersuchten Szenarien wurden weitgehend beibehalten. Neu hinzugekommen sind die Szenarien E4 - grosser Gerinnemurgang und F3 – Volumenströme.

E4 drängte sich als weiteres Szenario auf, weil die Chalberspissibäche bereits bei kleinen, häufigen Sturzereignissen laufend mit Sturzmaterial gefüllt werden und die Wahrscheinlichkeit von grossen Geschiebemengen in diesen Bächen gross ist.

Das Szenario F3 Volumenstrom wurde neu berücksichtigt, da die Untersuchung der Sturzprozesse darauf hindeuten, dass bei einzelnen Sturzscenarien die Wahrscheinlichkeit von kurz aufeinanderfolgenden Stürzen als höher angesehen wird als ein Absturz der gesamten Masse. Dies ist bei den Szenarien S3 und S5 der Fall, welche als auslösende Sturzereignisse für das Szenario F3 angesehen werden. Zudem hat das Frühjahr 2021 gezeigt, dass ein gleichzeitiges Auftreten von Schneeschmelze und Regenniederschlägen unter den heutigen klimatischen Bedingungen möglich ist. Dadurch kann mehr Wasser in die Sturzmasse eingebracht werden und die Wahrscheinlichkeit von Abstürzen ist höher.

Wirkungsflächen: Die Erhöhung des Ablagerungsvolumens im GAP aufgrund der Dammerhöhungen und des Einbaus des Murgangnetzes führt bei den meisten Szenarien zu einer Reduktion der betroffenen Flächen und/oder zur Abnahme der Einwirkungen (Ablagerungshöhen, respektive der Fliesshöhen) auf diesen Flächen.

Das neu berücksichtigte Szenario F3 (mit den beiden Subscenarien F3_{klein} und F3_{gross}) führen aufgrund der grossen Ereignisvolumen zu neuen Wirkungsflächen. Szenario F3_{gross} (Sturzvolumen 8 Mio m³, daraus resultierendes Murgangvolumen von 750'000 m³) wird dadurch zum massgebenden Szenario. Die Eintretenswahrscheinlichkeit, sowohl des auslösenden Sturzprozesses als auch der daraus resultierenden Murgangprozesse, wird als wahrscheinlich (mittlere Eintretenswahrscheinlichkeit) eingestuft. Dadurch dominiert dieses neue Szenario die Gefährdungsgebiete.

Gefährdungsgebiete: Sie zeigen, wo im Raum mit welcher Eintretenswahrscheinlichkeit und mit welchen Einwirkungen zu rechnen ist. Grundlage für die Abgrenzung der Gefährdungsgebiete sind die Wirkungsflächen. Die Karte der Gefährdungsgebiete zeigt die Gesamtschau aller Wirkungsflächen aller Prozesse. Wie bereits unter Szenarien ausgeführt, ist mit dem neuen Szenario F3_{gross} ein Szenario hinzugekommen, welches sowohl in der räumlichen Ausdehnung, der Einwirkungen als auch bezüglich Eintretenswahrscheinlichkeit dominiert. Die Änderungen gegenüber der Karte der Gefährdungsgebiete von 2020 sind mehrheitlich in der Berücksichtigung dieses Szenarios begründet.

TEIL II - Faktenblätter Sekundärprozesse

Szenario A1 - Kleine Flutwelle aus Oeschinensee

Beschreibung

Das Szenario 'Flutwelle klein' geht von einem Aufstau des Oeschinensees als Folge eines Felssturzes von rund 3 Mio m³ aus, welcher die Sattelzone um etwa 2 -3 m erhöhen kann (1586 m). Die Stauhöhe des Oeschinensees beträgt dabei +10 m. Im Nachgang zum Felssturzeignis muss sich der Oeschinensee zuerst mit Wasser füllen, bis ein Überströmen oder Überschwappen der Ablagerung möglich ist. Dazu sind rund 13 Mio m³ Wasser notwendig.

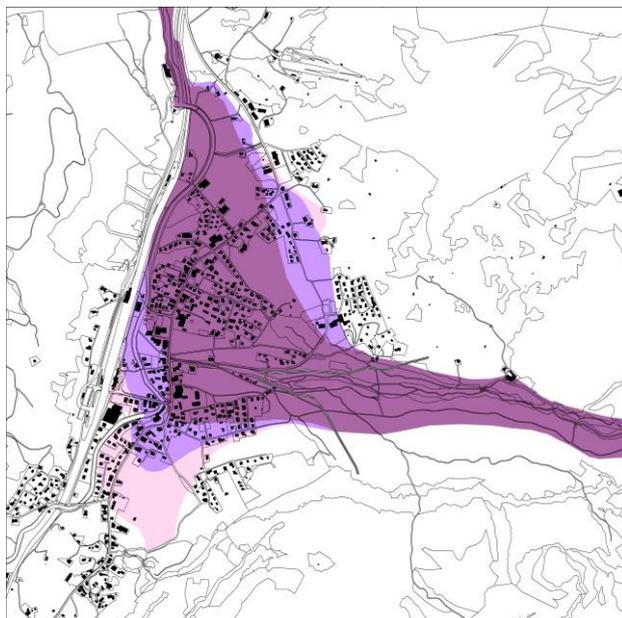
Es sind zwei Prozessabläufe möglich:

- a) Breschenbildung durch das rasche Ausfliessen mit progressiver Erosion als Folge eines Überströmens
- b) eine Flutwelle verursacht ein Überschwappen und diese wiederum eine Instabilität im Damm und einen Bruch im obersten Dammkörper

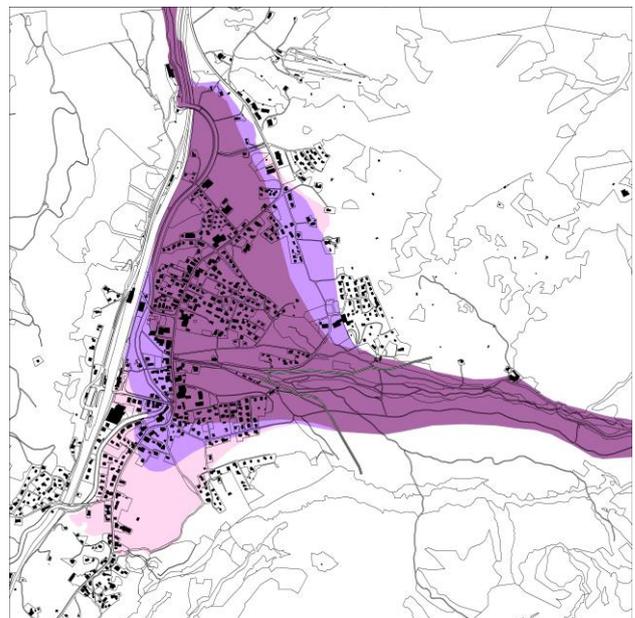
Beide Prozesse führen zu progressiver Erosion (Erosion als Folge der hohen Belastung des Gerinnebetts durch eine hohe Schubspannung). Da die Differenz des neuen zum alten Terrain nur bescheiden ist, wird davon ausgegangen, dass die Erosion nur auf das heute bestehende Terrain erfolgt (1583 m, mittleres Terrain, ohne den kleinen künstlichen Damm). Damit würden ca. 5 – 6 m Wassersäule ausfliessen. Sollten allerdings sehr grosse Blöcke in der Sturzablagerung sein, wäre auch ein Abpflästern der Sohle auf einem höheren Niveau möglich. In jedem Fall führt dies zu einer raschen Entleerung des gestauten Wassers.

Grundsätzlich einmaliges Ereignis, welches jedoch mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit wiederholt auftreten kann (neuerlicher grosser Sturz).

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:¹



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
--	---	--	---	--	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020</u> *:	<u>Ausbaugrad 2021</u> :
Damm Oeschwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

¹ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	unverändert
Eintretensw'keit	von 'möglich' (2020) zu 'wenig wahrscheinlich' (2021) herabgestuft

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 40 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 10 %	Qualitativ: möglich bis wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 4 %	Qualitativ: wenig wahrscheinlich

Voraussetzungen Sturzprozess und Seebildung

Sturzscenario	Szenario S3: Mehrere grosse Stürze, bis 3 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST, 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Eher kompakte Sturzablagerung im Bereich der Sattelzone. Reichweite der Sturzablagerung bis 1360 m ü. M. Ablagerungen hauptsächlich in der Sattelzone (Bereich Westufer Oeschinensee und Verflachung Holzspicher).
Höhe Seespiegel Oeschinensee	1588 m ü. M. Die Sturzablagerung verursacht einen Aufstau des Oeschinensees um 10 m, auf 1588 m ü. M.
Stauvolumen Oeschinensee	13 Mio m ³ (etwa halber Jahresniederschlag gemäss [22])
Hinweise	Die Füllung des Oeschinensees bis zur kritischen Höhe von 1588 m ü. M. erfolgt über mehrere Wochen bis wenige Monate. Die Füllung des Sees setzt voraus, dass keine unterirdische Entwässerung des Oeschinensees stattfindet.

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit einer genügend schnellen Seefüllung. In eher trockenen Jahren kann die Füllung zu viel Zeit beanspruchen. Es wird davon ausgegangen, dass im Betrachtungshorizont von 10 Jahren 2 trockene, 6 normale und 2 nasse Jahre auftreten. Die 80 % basieren auf der Annahme, dass der Sturz im Frühsommer eines 'normalen' oder 'nassen' Jahres auftritt und ein Bruch nach einigen Monaten möglich ist (Schneesmelze und Regen füllen den See). Sollte der Sturz erst im Herbst auftreten, würde sich die Füllung klar verzögern und ein Ausbrechen im gleichen Jahr wäre nicht mehr zu erwarten.	80 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die bestehenden, unterirdischen Wasserwege im bestehenden Terrain durch den Impakt der Sturzmasse gekappt werden.	20 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Bruch des Dammes kommen kann. Internationale Beobachtungen [40] zeigen, dass etwa 1/3 bis 1/2 der natürlichen Dämme als Folge von Überflüssen oder Durchfliessen mit anschliessender Erosion brechen. In diesem Kriterium ist die Wahrscheinlichkeit enthalten, dass neue interne Wasserwege entstehen.	30 %
	Wahrscheinlichkeit, dass es aufgrund der Geometrie der Sturzablagerung eine Seebildung möglich ist. Gemäss Sturzsimulationen wird eine eher flache, wenig hohe, langgezogene Ablagerung erwartet. Ein Aufstau ist bei dieser Geometrie weniger wahrscheinlich	20 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	1 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	10 %

Prozesskennwerte

Prozessart	<p>a) Überströmen bei kontinuierlichem Seeanstieg (nach Erreichen der Scheitelhöhe) mit progressiver Erosion in der Sturzmasse.</p> <p>b) Flutwelle, ausgelöst durch eine grosse Lawine oder einen Felssturz aus dem Gebiet östlich des Oeschinensees in den See.</p> <p>c) Rückschreitende Erosion im Sturzkörper ist wenig wahrscheinlich, kann aber nicht ausgeschlossen werden.</p>			
Ausbruchsvolumen Wasser	Stauvolumen Oeschinensee 13 Mio. m ³ ; davon fliesst rund die Hälfte des Wassers ab; Erosion bis auf das heutige Terrain (ohne den kleinen künstlichen Damm). Die ausfliessende Wassermenge beträgt rund 6 – 7 Mio m ³			
Erosion in Sturzablagerung (Sattelzone)	Erosionstiefe: T _{max} = 6 m (Ø 4 m)	Erosionsbreite: B _{max} = 40 m (Ø 30 m)	Erosionsquerschnitt: Ø EQ = 120 m ²	Erosionslänge: 500 m
	Basierend auf einem mittleren Erosionsquerschnitt von 600 m ² ergibt sich ein Erosionsvolumen von 60'000 m³			
Erosion entlang Gerinne	T _{max} = 4 m	B _{max} = 30 m	Ø EQ = 120 m ²	1'800 m
	Basierend auf einem Erosionsquerschnitt von 120 m ² ergibt sich ein Erosionsvolumen von 200'000 m³ Es kann davon ausgegangen werden, dass eine verstärkte Konzentration des Abflusses im bestehenden Gerinne stattfindet, da nur beschränkte Veränderung der Topografie durch die Sturzmassen.			
Total Erosionsvolumen	260'000 m ³ ; dies entspricht einem Feststoffanteil von ca. 2 %.			
Ereignisdauer	Ein einzelnes Ereignis über wenige Stunden			
Spitzenabfluss	Q _{max} = 1300 m ³ /s (Schätzung mittels Ansätzen in [23], bzw. in [40])			
Fließgeschwindigkeit	5 - 10 m/s in steileren Abschnitten, 2 - 5 m/s im Talboden			

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschiwald)	60'000 m ³
Ablagerung im Dorf	200'000 m ³ Das von Ablagerungen betroffene Gebiet umfasst grosse Teile von Kandersteg sowie Teile des Kandertals bis Frutigen
Betroffene Gebiete	Im Dorf Kandersteg katastrophale Flutwelle von mehreren Metern Höhe möglich. In den engen Passagen unterhalb von Kandersteg massive Tiefen- und Seitenerosion. Auswirkungen bis Frutigen möglich (Überflutung und Erosionen).
Wirkung auf Kander	gross Das Gerinne der Kander wird im Abschnitt Querung Bahnhofstrasse bis ARA vollständig mit Geschiebe verfüllt. Dies führt zu einem Rückstau der Kander oberhalb des Dorfes.

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wird teilweise zerstört; kein Geschieberückhalt
Damm Zilfuri	Damm bietet keinen Rückhalt und wird grösstenteils zerstört
GAP (GAP)	vernachlässigbare Wirkung (Abfluss 1300 m ³ /s)
Murgangnetz (GAP)	Netz wird überströmt und kann zerstört werden. Dadurch entsteht keine wesentliche Mehrbelastung.

Intervention

Vorsorgliche Massnahmen	Information Krisenstäbe im Kandertal Notfallplanung, inkl. Abklärung möglicher betroffener Flächen
Vor Ereignis	Beobachtung des Seespiegelanstiegs im Oeschinensee nach erfolgtem Sturzereignis; bei starkem Anstieg: Wasserentlastung aus Oeschinensee durch bspw. Pumpen Evakuieren Kandersteg und Teile des Kandertals
Während Ereignis	---
Nach Ereignis	Folgegefahren (z.B. Böschungsnachbrüche) der Flutwelle im Abflusskorridor abklären

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario A2 - Mittelgrosse Flutwelle aus Oeschinensee

Beschreibung

Das Flutwellen-Szenario geht von einem Aufstau des Oeschinensees als Folge eines Bergsturzes von 8 Mio. m³ aus, dessen Ablagerung etwa bis 1600 m ü. M. reicht. Das Szenario 'Mittelgrosse Flutwelle' geht von einer **Stauhöhe des Oeschinensees von +22 m** aus. Im Nachgang zum Felssturzereignis muss sich der Oeschinensee zuerst mit Wasser füllen, bis ein Überströmen oder Überschwappen der Ablagerung möglich ist.

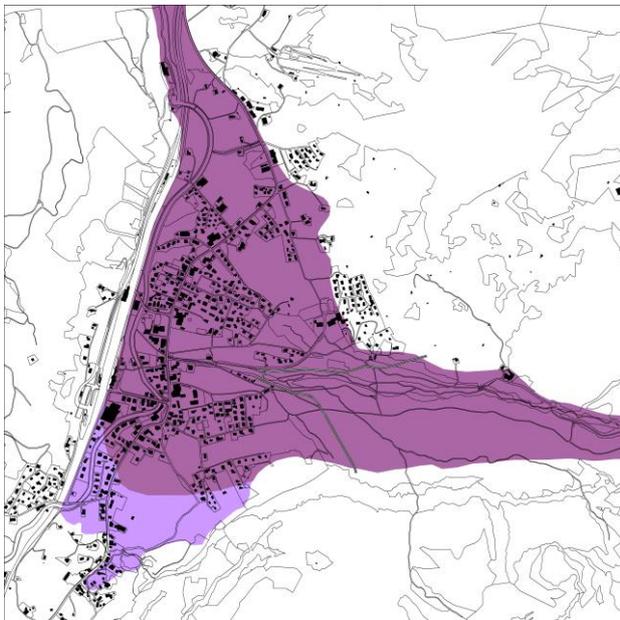
Es sind zwei Prozessabläufe möglich:

- Breschenbildung durch das rasche Ausfliessen mit progressiver Erosion als Folge eines Überströmens
- eine Flutwelle verursacht ein Überschwappen und diese wiederum eine Instabilität im Damm und einen Bruch im obersten Dammkörper

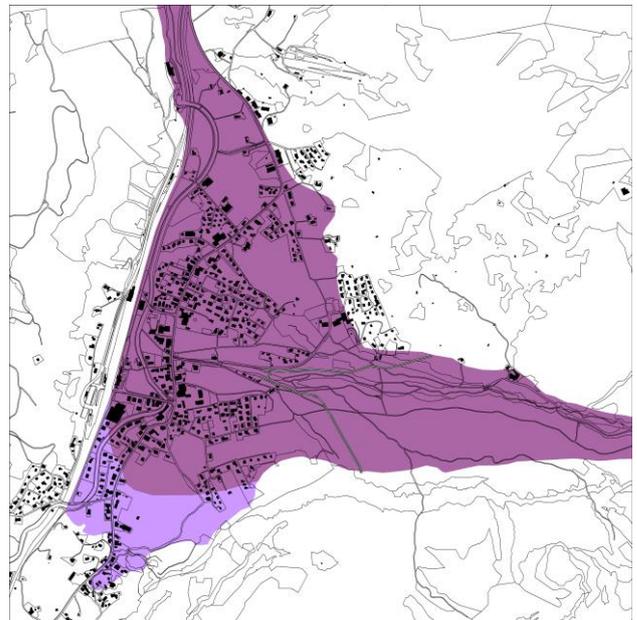
Beide Prozesse führen zu progressiver Erosion (Erosion als Folge der hohen Belastung des Gerinnebetts durch eine hohe Schubspannung). Dabei werden auch grosse Blöcke bewegt. Da die neuen Ablagerungen feinkörniger sind als die Ablagerung des prähistorischen Bergsturzes, könnte die Bresche bis auf das Niveau von 1578 m erodiert werden; sollten allerdings sehr grosse Blöcke in der Masse sein, wäre auch ein Abplättern der Sohle auf einem höheren Niveau möglich. In jedem Fall führt dies zu einer raschen Entleerung des gestauten Wassers.

Grundsätzlich einmaliges Ereignis, welches jedoch mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit wiederholt auftreten kann (neuerlicher grosser Sturz).

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:²



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

 Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s	 Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s	 Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s
Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört	Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt	Wasser und Schlamm dringt in Gebäude

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020</u> *:	<u>Ausbaugrad 2021</u> :
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

² Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	unverändert
Eintretensw'keit	unverändert

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 33 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 9 %	Qualitativ: möglich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 3 %	Qualitativ: wenig wahrscheinlich

Voraussetzungen Sturzprozess und Seebildung

Sturzscenario	Szenario S5: Grosse Bergsturz bis 8 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Langgezogene Sturzablagerung vom Oeschinensee bis hinunter auf 1300 m ü. M. Mächtigste Ablagerungen im Bereich der Einmündung des Chalberspissibaches und des Staubbachs.
Höhe Seespiegel Oeschinensee	1600 m ü. M. Die Sturzablagerung verursacht einen Aufstau des Oeschinensees um rund 20 - 22 m, auf 1600 m ü. M.
Stauvolumen Oeschinensee	26 Mio m ³ Wasser (etwa ein Jahresniederschlag gemäss [22])
Hinweise	Die Füllung des Oeschinensees bis zur kritischen Höhe von 1598 m ü. M. erfolgt über etwa ein halbes Jahr, sofern der Sturz im Spätfrühling stattfindet (Schmelze des Schnees und Regenfälle). Die Füllung des Sees setzt voraus, dass keine unterirdische Entwässerung des Oeschinensees stattfindet.

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit einer genügend schnellen Seefüllung. Es wird davon ausgegangen, dass im Betrachtungshorizont von 10 Jahren 6 normale und 2 nasse Jahre auftreten. Die 50 % basieren auf der Annahme, dass der Sturz beim Einsetzen der Schneeschmelze eines 'normalen' oder 'nassen' Jahres auftritt und ein Bruch nach etwa einem halben bis ¾ Jahren möglich ist (gesamte Schneeschmelze und Regen füllen den See). Sollte der Sturz erst im Spätsommer oder Herbst auftreten, würde sich die Füllung klar verzögern und ein Ausbrechen im gleichen Jahr wäre nicht mehr zu erwarten. Damit sinkt die Wahrscheinlichkeit eines Ausbruchs (siehe morphodynamische Voraussetzung)	50 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass alle bisher bestehenden, unterirdischen Wasserwege im bestehenden Terrain durch den Impakt der Sturzmasse gekappt werden.	30 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Bruch des Dammes kommen kann. Internationale Beobachtungen zeigen, dass etwa 1/3 bis 1/2 der natürlichen Dämme als Folge von Überflüssen oder Durchflüssen mit anschliessender Erosion brechen. In diesem Kriterium ist die Wahrscheinlichkeit enthalten, dass neue interne Wasserwege entstehen.	30 %
	Wahrscheinlichkeit, dass es aufgrund der Geometrie der Sturzablagerung eine Seebildung möglich ist. Gemäss Sturzsimulationen wird eine eher flache, wenig hohe, langgezogene Ablagerung erwartet. Ein Aufstau ist bei dieser Geometrie weniger wahrscheinlich	20 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	0.9 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	9 %

Prozesskennwerte

Prozessart	<ul style="list-style-type: none"> a) Überströmen bei kontinuierlichem Seeanstieg (nach Erreichen der Scheitelhöhe) mit progressiver Erosion in der Sturzmasse. b) Flutwelle, ausgelöst durch eine grosse Lawine oder einen Felssturz aus dem Gebiet östlich des Oeschinensees in den See. c) Rückschreitende Erosion im Sturzkörper, welche bis zum Scheitelpunkt reicht und einen lokalen Kollaps des Dammes verursacht. 			
Ausbruchsvolumen Wasser	26 Mio m ³			
Erosion in Sturzablagerung (Sattelzone)	Erosionstiefe: T _{max} = 15 m	Erosionsbreite: B _{max} = 80 m (Ø 40 m)	Erosionsquerschnitt: Ø EQ = 600 m ²	Erosionslänge: 950 m
	Basierend auf einem mittleren Erosionsquerschnitt von 600 m ² ergibt sich ein Erosionsvolumen von 600'000 m³			
Erosion entlang Gerinne	T _{max} = 10 m	B _{max} = 50 m	Ø EQ = 500 m ²	1'800 m
	Basierend auf einem Erosionsquerschnitt von 500 m ² ergibt sich ein Erosionsvolumen von 900'000 m³			
Total Erosionsvolumen	1'500'000 m ³ ; dies entspricht einem Feststoffanteil von ca. 6 %.			
Ereignisdauer	Ein einzelnes Ereignis über einige Stunden			
Spitzenabfluss	Q _{max} = 3'500 m ³ /s (Schätzung mittels Ansätzen in [23], bzw. in [40])			
Fliessgeschwindigkeit	5 - 10 m/s in steileren Abschnitten, 2 - 5 m/s im Talboden			

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschwald)	200'000 m ³
Ablagerung im Dorf	1'300'000 m ³
Betroffene Gebiete	Im Dorf Kandersteg katastrophale Flutwelle von mehreren Metern Höhe möglich (analog A1). In den engen Passagen unterhalb von Kandersteg massive Tiefen- und Seitenerosion. Auswirkungen bis über Frutigen hinaus möglich.
Wirkung auf Kander	gross Das Gerinne der Kander wird im Abschnitt Bütschelstrasse bis ARA vollständig mit Geschiebe verfüllt. Dies führt zu einem Rückstau der Kander oberhalb des Dorfes.

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschwald	Damm bietet keinen zusätzlichen Schutz , da zerstört
Damm Zilfuri	Damm bietet keinen zusätzlichen Schutz , da zerstört
Sammler (GAP)	Vernachlässigbare Wirkung
Murgangnetz (GAP)	Netz wird überströmt und kann zerstört werden. Dadurch entsteht keine wesentliche Mehrbelastung

Intervention

Vorsorgliche Massnahmen	Information Krisenstäbe im Kandertal Notfallplanung, inkl. Abklärung möglicher betroffener Flächen
Vor Ereignis	Beobachtung des Seespiegelanstiegs im Oeschinensee nach erfolgtem Sturzereignis; bei starkem Anstieg: Wasserentlastung aus Oeschinensee durch bspw. Pumpen Evakuieren Kandersteg und Teile des Kandertals
Während Ereignis	---
Nach Ereignis	Folgegefahren (z.B. Böschungsnachbrüche) der Flutwelle im Abflusskorridor abklären

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario A3- Grosse Flutwelle aus Oeschinensee

Beschreibung

Das Flutwellen-Szenario geht von einem Aufstau des Oeschinensees als Folge eines Bergsturzes von 20 Mio. m³ aus, dessen Ablagerung etwa bis 1612 m ü. M. reicht. Das Szenario 'Grosse Flutwelle' geht von einer **Stauhöhe des Oeschinensees von +34 m** aus. Im Nachgang zum Felssturzereignis muss sich der Oeschinensee zuerst mit Wasser füllen, bis ein Überströmen oder Überschwappen der Ablagerung möglich ist.

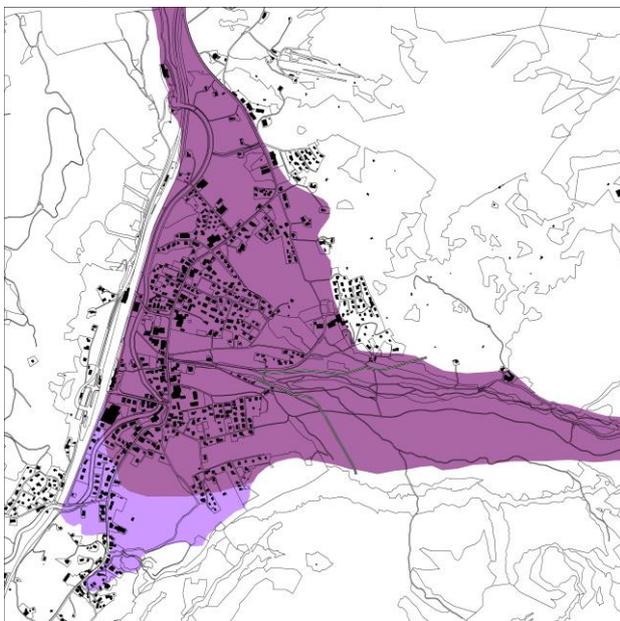
Es sind zwei Prozessabläufe möglich:

- Breschenbildung durch das rasche Ausfliessen mit progressiver Erosion als Folge eines Überströmens
- Eine Flutwelle verursacht ein Überschwappen und diese wiederum eine Instabilität im Damm und einen Bruch im obersten Dammkörper

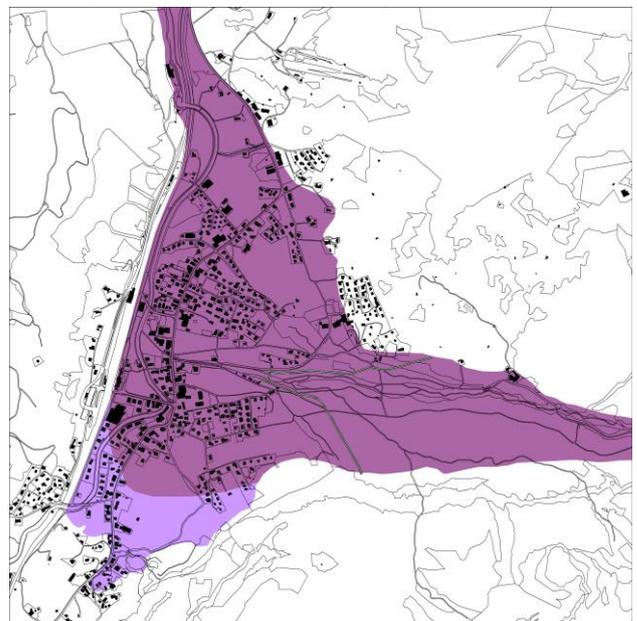
Beide Prozesse führen zu progressiver Erosion (Erosion als Folge der hohen Belastung des Gerinnebetts durch eine hohe Schubspannung). Dabei werden auch grosse Blöcke bewegt. Da die neuen Ablagerungen feinkörniger sind als die Ablagerung des prähistorischen Bergsturzes, könnte die Bresche bis auf das Niveau von 1578 m erodiert werden; sollten allerdings sehr grosse Blöcke in der Masse sein, wäre auch ein Abpfästern der Sohle auf einem höheren Niveau möglich. In jedem Fall führt dies zu einer raschen Entleerung des gestauten Wassers.

Einmaliges Ereignis, welches abhängig ist von der Grösse des Sturzereignisses.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:³



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

<p> Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude</p>
--	--	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020*:</u>	<u>Ausbaugrad 2021:</u>
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichtserstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	unverändert
Eintretensw'keit	unverändert

³ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 5 %	Qualitativ: wenig wahrscheinlich bis möglich
Sekundärprozess	Quantitativ: 6 %	Qualitativ: möglich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 0.3 %	Qualitativ: wenig wahrscheinlich

Voraussetzungen Sturzprozess und Seebildung

Sturzscenario	Szenario S6: Gesamtabbruch, 20 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Langgezogene Sturzablagerung vom Oeschinensee bis hinunter auf 1230 m ü. M. Mächtigste Ablagerungen in der Sattelzone (Bereich Westufer Oeschinensee und Verflachung Holzspicher) und im Bereich der Einmündung des Chalberspissbaches.
Höhe Seespiegel Oeschinensee	1612 m ü. M. Die Sturzablagerung verursacht einen Aufstau des Oeschinensees um 34 m, auf 1612 m ü. M.
Stauvolumen Oeschinensee	44 Mio m ³ Wasser (Niederschlag von ca. 2 Normaljahren gemäss [22]))
Hinweise	Die Füllung des Oeschinensees bis zur kritischen Höhe von 1610 m ü. M. erfolgt über 1 (nasses Jahr) bis 2 (Normaljahr) Jahre. Die Füllung des Sees setzt voraus, dass keine unterirdische Entwässerung des Oeschinensees stattfindet.

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit einer genügend schnellen Seefüllung. Es wird davon ausgegangen, dass im Betrachtungshorizont von 10 Jahren 2 nasse Jahre auftreten. Es wird davon ausgegangen, dass nur in nassen Jahren eine Füllung in einem Jahr möglich ist.	20 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass alle bisher bestehenden, unterirdischen Wasserwege im bestehenden Terrain durch den Impact der Sturzmasse gekappt werden.	50 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Bruch des Dammes kommen kann. Internationale Beobachtungen zeigen, dass etwa 1/3 bis 1/2 der natürlichen Dämme als Folge von Überflüssen oder Durchflüssen mit anschliessender Erosion brechen. In diesem Kriterium ist die Wahrscheinlichkeit enthalten, dass neue interne Wasserwege entstehen.	30 %
	Wahrscheinlichkeit, dass es aufgrund der Geometrie der Sturzablagerung eine Seebildung möglich ist. Gemäss Sturzsimulationen wird eine eher flache, wenig hohe, langgezogene Ablagerung erwartet. Ein Aufstau ist bei dieser Geometrie weniger wahrscheinlich	20 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	0.6 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	6 %

Prozesskennwerte

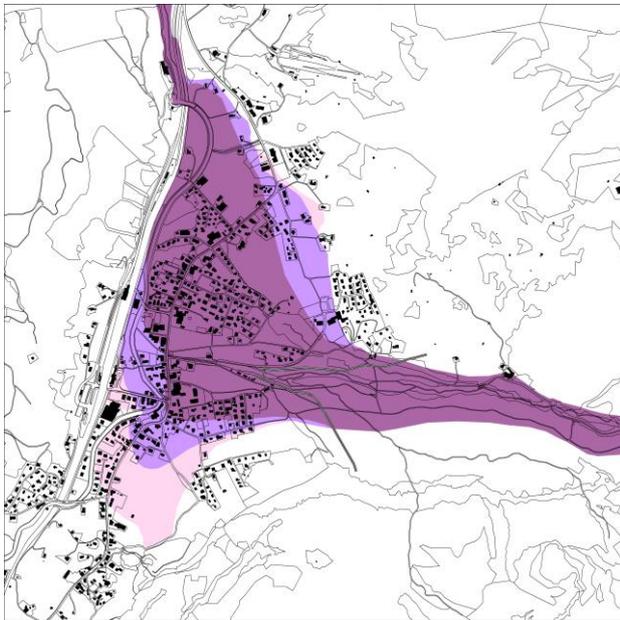
Prozessart	a) Überströmen bei kontinuierlichem Seeanstieg (nach Erreichen der Scheitelhöhe) mit progressiver Erosion in der Sturzmasse. b) Flutwelle, ausgelöst durch eine grosse Lawine oder einen Felssturz aus dem Gebiet östlich des Oeschinensees in den See. Es wird angenommen, dass eine rückschreitende Erosion aufgrund der langgezogenen Sturzablagerung nicht auftreten kann.			
Ausbruchsvolumen Wasser	40 Mio m ³			
Erosion in Sturzablagerung (Sattelzone)	Erosionstiefe: T _{max} = 30 m	Erosionsbreite: B _{max} = 200 m	Erosionsquerschnitt: Ø EQ = 2'000 m ²	Erosionslänge: 1'000 m
	Basierend auf einem mittleren Erosionsquerschnitt von 2'000 m ² ergibt sich ein Erosionsvolumen von 2'200'000 m³ in der primären Ablagerung			

Erosion entlang Gerinne	$T_{\max} = 10 \text{ m}$	$B_{\max} = 50 \text{ m}$	$\varnothing \text{ EQ} = 500 \text{ m}^2$	1'800 m
Total Erosionsvolumen	Basierend auf einem Erosionsquerschnitt von 500 m^2 ergibt sich ein Erosionsvolumen von $900'000 \text{ m}^3$			
Ereignisdauer	3'100'000 m^3 ; dies entspricht einem Feststoffanteil von ca. 8 %.			
Spitzenabfluss	Ein einzelnes Ereignis über einige Stunden, Total 3.1 Mio m^3			
Fließgeschwindigkeit	$Q_{\max} = 4'500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Schätzung mittels Ansätzen in [23], bzw. in [40])			
	5 - 10 m/s in steileren Abschnitten, 2 - 5 m/s im Talboden			
Wirkungsraum				
Ablagerung im (GAP, Oeschwald)	200'000 m^3			
Ablagerung im Dorf	2'900'000 m^3 Davon werden mindestens 1/4 in unterliegende Gebiete (Kandertal) weiterverfrachtet.			
Betroffene Gebiete	Das betroffene Gebiet umfasst praktisch das ganze Dorfgebiet von Kandersteg sowie das ganze Kandertal, inkl. Frutigen und hat Auswirkungen bis in den Thunersee (Anstieg des Thunersees deutlich mehr als ein halber Meter innert 1 Tag). In den engen Passagen unterhalb von Kandersteg massive Tiefen- und Seitenerosion. Im Dorf Kandersteg katastrophale Flutwelle von mehreren Metern Höhe möglich.			
Wirkung auf Kander	gross Das Gerinne der Kander wird im Abschnitt Bütschelstrasse bis ARA vollständig mit Geschiebe verfüllt. Dies führt zu einem Rückstau der Kander oberhalb des Dorfes.			
Verhalten Schutzbauten				
Damm Oeschwald	Damm bietet keinen Rückhalt und wird zerstört			
Damm Zilfuri	Damm bietet keinen Rückhalt und wird zerstört			
Sammler (GAP)	Vernachlässigbare Wirkung			
Murgangnetz (GAP)	Netz wird überströmt und kann zerstört werden. Dadurch entsteht keine wesentliche Mehrbelastung.			
Intervention				
Vorsorgliche Massnahmen	Information Krisenstäbe im Kandertal Notfallplanung, inkl. Abklärung möglicher betroffener Flächen			
Vor Ereignis	Beobachtung des Seespiegelanstiegs im Oeschinensee nach erfolgtem Sturzereignis; bei starkem Anstieg: Wasserentlastung aus Oeschinensee durch bspw. Pumpen Evakuieren Kandersteg und Teile des Kandertals			
Während Ereignis	---			
Nach Ereignis	Folgegefahren (z.B. Böschungsnachbrüche) der Flutwelle im Abflusskorridor abklären			
Hinweise				
Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.			

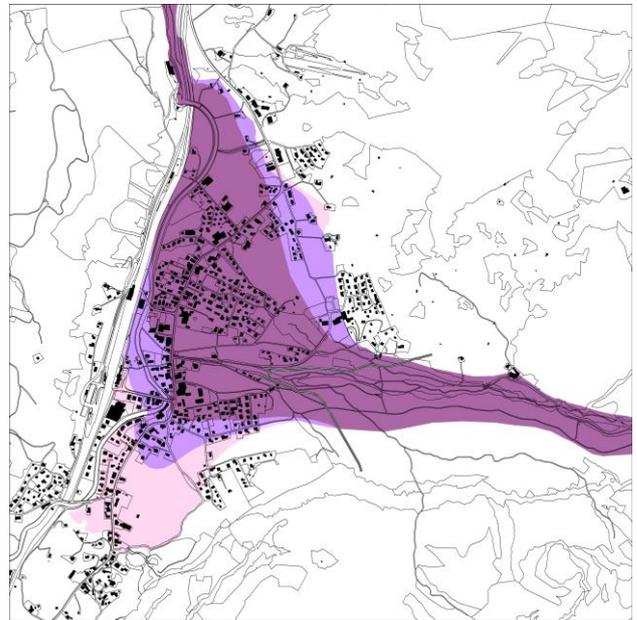
Szenario A4 - Flutwelle aus neu entstandenem 'Holzspichersee'

Beschreibung Das Szenario 'Flutwelle Holzspichersee' verhält sich analog den Flutwellen-Szenarien. Es setzt eine Seebildung im Bereich der Verflachung bei Holzspicher voraus. Eine solche ist nur bei einer Felssturزابlagerung unterhalb von Holzspicher möglich, welche sich durch die Mulde des Staubbaches ereignen müsste.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:⁴



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

<p> Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s</p> <p>Grösste transportierte Blöcke > 1 m</p> <p>Gebäude werden zerstört</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s</p> <p>Grösste transportierte Blöcke < 1 m</p> <p>Gebäude werden beschädigt</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s</p> <p>Wasser und Schlamm dringt in Gebäude</p>
--	--	---

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020*:</u>	<u>Ausbaugrad 2021:</u>
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	unverändert
Eintretensw'keit	unverändert

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 23 %	Qualitativ: wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 14 %	Qualitativ: wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 3 %	Qualitativ: wenig wahrscheinlich

⁴ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario S4: Mehrere grosse Stürze Staubbach, bis 1.5 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021). Die Sturzablagerung bilden einen Damm am Ende der Verflachung Holzspicher.
Form und Lage Sturzmasse	Eher kompakte Sturzablagerung unterhalb der Verflachung Holzspicher.
Stauvolumen See	3 Mio m ³ Wasser
Hinweise	Das Auffüllen des neuen Sees ist abhängig von der Wasserführung des Oeschinen- und des Chalberspissibachs und dürfte je nach Jahreszeit und Niederschlagsverlauf mehrere Wochen bis Monate dauern, sofern der Sturz nicht erst im Herbst stattfindet.

Voraussetzungen Sekundärprozess und Seebildung

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit einer genügend schnellen Seefüllung. In sehr trockenen Jahren kann die Füllung zu viel Zeit beanspruchen. Es wird davon ausgegangen, dass im Betrachtungshorizont von 10 Jahren 2 trockene, 6 normale und 2 nasse Jahre auftreten. Die 80 % basieren auf der Annahme, dass der Sturz beim Einsetzen der Schneeschmelze eines 'normalen' oder 'nassen' Jahres auftritt und ein Bruch nach spätestens einem halben Jahr möglich ist (Schneeschmelze und Regen füllen den See). Sollte der Sturz erst im Herbst auftreten, würde sich die Füllung klar verzögern und ein Ausbrechen im gleichen Jahr wäre nicht mehr zu erwarten.	80 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass alle bisher bestehenden, unterirdischen Wasserwege im bestehenden Terrain durch den Impakt der Sturzmasse gekappt werden.	30 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass es zu einem Bruch des Dammes kommen kann. Internationale Beobachtungen zeigen, dass etwa 1/3 bis 1/2 der natürlichen Dämme als Folge von Überflüssen oder Durchflüssen mit anschliessender Erosion brechen. In diesem Kriterium ist die Wahrscheinlichkeit enthalten, dass neue interne Wasserwege entstehen.	30 %
	Wahrscheinlichkeit, dass es aufgrund der Geometrie der Sturzablagerung eine Seebildung möglich ist. Gemäss Sturzsimulationen wird eine eher flache, wenig hohe, langgezogene Ablagerung erwartet. Ein Aufstau ist bei dieser Geometrie weniger wahrscheinlich	20 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	1.4 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	14 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Dambruch mit anschliessender Flutwelle aufgrund rückschreitender Erosion.			
Ausbruchsvolumen Wasser	3 Mio m ³			
Erosion in Sturzablagerung (Sattelzone)	Erosionstiefe: T _{max} = 12 m	Erosionsbreite: B _{max} = 90 m (Ø 50 m)	Erosionsquerschnitt: Ø EQ = 600 m ²	Erosionslänge: 500 m
	Basierend auf einem mittleren Erosionsquerschnitt von 600 m ² ergibt sich ein Erosionsvolumen von 300'000 m³			
Erosion entlang Gerinne	T _{max} = 5 m	B _{max} = 50 m	Ø EQ = 250 m ²	800 m
	Basierend auf einem Erosionsquerschnitt von 250 m ² ergibt sich ein Erosionsvolumen von 200'000 m³			
Total Erosionsvolumen	500'000 m ³ ; dies entspricht einem Feststoffanteil von ca. 16 % (hyper-concentrated flow)			
Ereignisdauer	Ein einzelnes Ereignis über wenige Stunden			
Spitzenabfluss	Q _{max} = 1'000 m ³ /s (Schätzung mittels Ansätzen in [23], bzw. in [40])			
Fließgeschwindigkeit	5 - 10 m/s in steileren Abschnitten, 2 - 5 m/s im Talboden			

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschiwald)	200'000 m ³
Ablagerung im Dorf	300'000 m ³ . Das durch Ablagerungen betroffene Gebiet umfasst grosse Teile von Kandersteg sowie Teile des Kandertals bis Frutigen
Betroffene Gebiete	Im Dorf Kandersteg katastrophale Flutwelle (Abfluss mit hoher Geschiebekonzentration) von mehreren Metern Höhe möglich. In den engen Passagen unterhalb Kandersteg massive Tiefen- und Seitenerosion. Auswirkungen bis Frutigen möglich.
Wirkung auf Kander	gross Das Gerinne der Kander wird im Abschnitt Querung Bahnhofstrasse bis ARA vollständig mit Geschiebe verfüllt. Dies führt zu einem Rückstau der Kander oberhalb des Dorfes.

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wird teilweise zerstört; kein Geschieberückhalt
Damm Zilfuri	Damm bietet keinen Rückhalt und wird grösstenteils zerstört
Sammler (GAP)	vernachlässigbare Wirkung (Abfluss 1'000 m ³ /s)
Murgangnetz (GAP)	Netz wird überströmt und kann zerstört werden. Dadurch entsteht keine wesentliche Mehrbelastung.

Intervention

Vorsorgliche Massnahmen	Information Krisenstäbe im Kandertal Notfallplanung, inkl. Abklärung möglicher betroffener Flächen
Vor Ereignis	Beobachtung des Seespiegelanstiegs im neu entstandenen See nach erfolgtem Sturzereignis; bei starkem Anstieg: Wasserentlastung durch bspw. Pumpen Evakuieren Kandersteg und Teile des Kandertals
Während Ereignis	---
Nach Ereignis	Folgegefahren (z.B. Böschungsnachbrüche) der Flutwelle im Abflusskorridor abklären

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario B - Rückschreitende Erosion in Sturzmasse

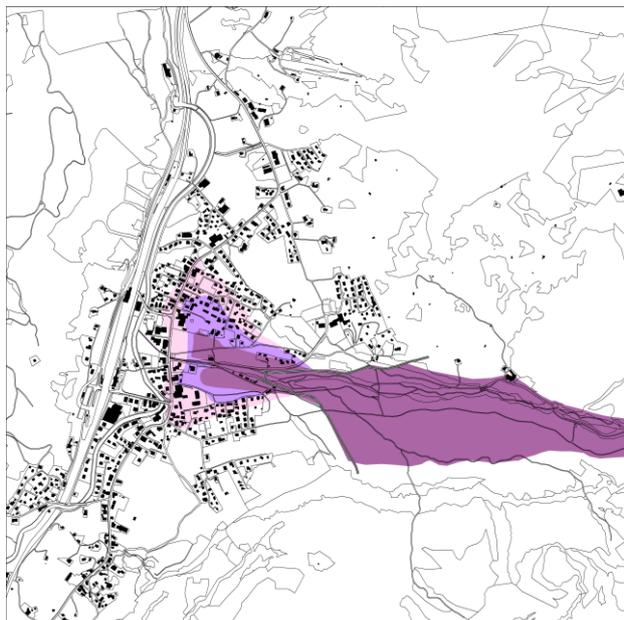
Beschreibung

Als Folge von lang andauernden Niederschlägen, einer beträchtlichen Wasserzufuhr durch das Gerinnesystem von weiter oben und allenfalls zusätzlich durch Sickerwasser aus dem Oeschinensee (alte und neue unterirdische Wasserläufe) erfolgen Instabilitäten auf der talwärts gerichteten Seite der Sturzablagung. Voraussetzung für solche Instabilitäten sind ein beträchtlicher Anteil an feinem Material und grössere interne Wasserzuflüsse (Sättigung eines grösseren Volumens).

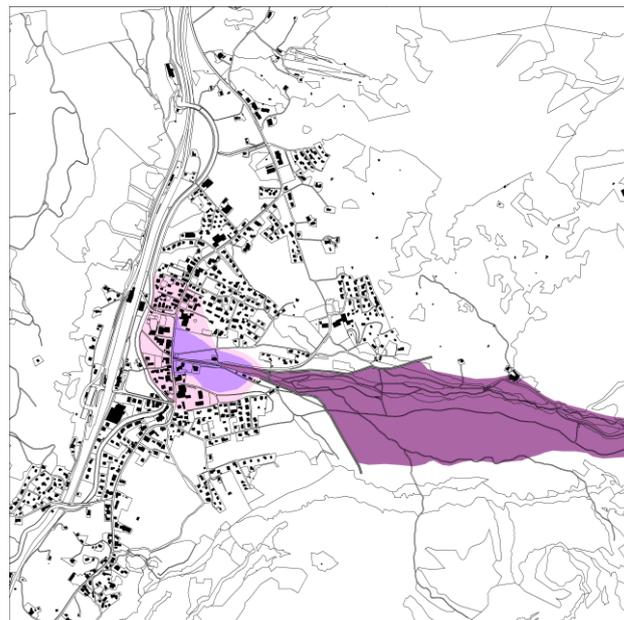
Die Erosion beginnt an der Basis und setzt sich aufwärts mit sukzessivem Kollaps von kleineren und grösseren Volumen fort. Dadurch können auch grosse Komponenten bewegt werden. Die einzelnen Volumina können als Murgang abfliessen. Bei einer fortschreitenden Entwicklung dieser rückschreitenden Erosion kann es allenfalls zu einem vollständigen Dambruch und Flutwelle kommen (siehe Szenario A). Szenario B kann jedoch schon vor einem Füllen des Oeschinensees auftreten.

Mehrfaches Auftreten möglich, aber wenig wahrscheinlich.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:⁵



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

<p> Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude</p>
---	---	---

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020</u> *:	<u>Ausbaugrad 2021</u> :
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	Reduktion der Flächen und der Intensitäten aufgrund des grösseren Ablagerungsvolumens im GAP von 'möglich' (2020) zu 'wenig wahrscheinlich' (2021) herabgestuft
Eintretensw'keit	

⁵ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 33 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 10 %	Qualitativ: möglich bis wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 3 %	Qualitativ: wenig wahrscheinlich

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario S5: Grosser Bergsturz bis 8 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Mächtigeste Ablagerungen beschränken sich auf den Bereich der Einmündung des Chalberspissibaches und des Staubbachs. Langegezogene Sturzablagerung vom Oeschinensee bis hinunter auf 1300 m ü. M.

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzablagerung genügend mit Wasser (Niederschlag, Schneeschmelze) gesättigt werden kann, dass eine Murgangentstehung möglich ist. Es sind Bedingungen eines nassen Jahres notwendig, wie sie etwa 2 x in 10 Jahren erwartet werden.	20 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzablagerung genügend Wasser aufnehmen kann (geringe Wassergängigkeit aber über lange Zeit sättigbar). Aufgrund der erwarteten feinen Kornzusammensetzung wird die Wahrscheinlichkeit als gross erachtet.	80 %
	Wahrscheinlichkeit, dass eine unterirdische Wasserzufuhr aus den Chalberspissibächen besteht.	60 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzablagerung talseitig steil ausgebildet ist. Je steiler die Hangneigung im Anrissbereich, umso wahrscheinlicher ist eine Murgangauslösung. Gemäss Sturzsimulationen wird eine eher flache, wenig hohe, langegezogene Ablagerung erwartet.	10 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	1 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	10 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Rückschreitende Erosion durch Sickerwasser oder seitliche Wasserzufuhr bei langandauernden Niederschlägen. Einige Beobachtungen sind in [42] dokumentiert.			
Erosion in Sturzablagerung (Sattelzone)	Erosionstiefe: T _{max} = 10 m (Ø 5 m)	Erosionsbreite: B _{max} = 120 m (Ø 70m)	Erosionsquerschnitt: Ø EQ = 350 m ²	Erosionslänge: 300 m
	Es sind 2 Anrissbereiche möglich, wobei nur 1 Anriss pro Ereignis angenommen wird. Erosionsvolumen von 105'000 m³			
Erosion entlang Gerinne	T _{max} = 5 m (Ø 4 m)	B _{max} = 20 m (Ø 12 m)	Ø EQ = 50 m ²	1'000 m (bis Kote 1300 m)
	Basierend auf einem mittleren Erosionsquerschnitt von 50 m ² ergibt sich ein Erosionsvolumen von 50'000 m³			
Total Erosionsvolumen	155'000 m ³			
Ereignisdauer	Mehrere Murgang-Schübe, eher flüssig, Ablagerungen bereits oberhalb des LWK (1277 m ü. M.) beginnend.			
Spitzenabfluss	Q _{max} = 450 m ³ /s			
Fliessgeschwindigkeit	3 - 6 m/s in steileren Abschnitten, 2 – 3 m/s im Talboden			

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschiwald)	140'000 - 150'000 m ³ Ein kleiner Teil des eher flüssigen Murgangs kann das Netz überströmen.
Ablagerung im Dorf	5'000 – 10'000 m ³
Betroffene Gebiete	In den gerinnenahen Bereichen des Oeschibachs können Ablagerungen von 1 - 2 m Mächtigkeit auftreten, weiter entfernt sind die Ablagerungen klar unter 1 m.
Wirkung auf Kander	mittel bis gross Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt GAP bis Dorfstrassenquerung ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Zudem kann Geschiebe im Bereich Querung Bahnhofstrasse in die Kander eingetragen werden. Die Auflandungen dürften im Bereich von 0.5 - 1 m liegen. Durch die Geschiebeeinträge kann es zu Ausuferungen in der Kander kommen.

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm besteht und hält
Damm Zilfuri	Damm besteht und hält
Sammler (GAP)	GAP wirkt und hält ca. 140'000 - 150'000 m ³ zurück
Murgangnetz (GAP)	Netz wirkt, ein kleiner Teil des Geschiebes wird in den Unterlauf des Oeschibachs eingetragen

Intervention

Vor Ereignis	Bildung neuer Wasserquellen beobachten. Quellen liefern einen Hinweis auf die Entwicklung kritischer Situationen (Auslösung von Murgängen). Szenario B kann sich in Richtung Szenario A entwickeln. Als Massnahme bietet sich nebst der Beobachtung eine Wasserentlastung aus dem Oeschinensee durch bspw. Pumpen an. Es gelten die gleichen Empfehlungen wie bei Szenario A.
Während Ereignis	---
Nach Ereignis	GAP leeren

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario E1 - Gerinneprozesse in Hochwasser-armen Jahren

Beschreibung

Die Gerinne des Chalberspissibachs, des Staubbachs und des oberen Teils des Oeschibachs werden wiederholt durch einzelne Stürze aufgefüllt. Während Gewitter oder langandauernden Niederschlägen können in diesen Abschnitten Murgänge entstehen.

Das Szenario 'Gerinneprozesse in Hochwasser-armen Jahren' geht von einer geringen Hochwasser-Aktivität mit wenigen und kleinen Hochwasserereignissen aus.

Wiederkehrende Ereignisse, welche abhängig von der Verfügbarkeit von Lockermaterial im Gerinne sind.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:⁶



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
---	---	---	---	---	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	Ausbaugrad 2020*:	Ausbaugrad 2021:
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	unverändert
Eintretensw'keit	unverändert

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 97 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 200 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 194 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich

Werte über 100 % bedeuten, dass das Ereignis mehr als 1 x innerhalb der Betrachtungsperiode von 10 Jahren auftritt.

⁶ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario R1: Rutschung aus Westflanke, bis 0.2 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021) Szenario S1: Felssturz aus Zentrum/Gipfel, bis 0.2 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021) Szenario S4: Mehrere grosse Stürze in den Staubbach, bis 1.5 Mio m ³ (Quelle GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Gerinne des Chalberspissibachs bzw. Staubbachs

Voraussetzungen Sekundärprozess

Die Szenarien E1 bis E3 stellen **Jahresbetrachtungen** dar. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens basiert im Wesentlichen auf den meteorologischen Voraussetzungen. Die hydrogeologischen Voraussetzungen und die morphodynamischen/morphogenetischen Voraussetzungen werden als gegeben vorausgesetzt (Wahrscheinlichkeit 100%)

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass genügend intensive Niederschläge auftreten. E1 tritt in hochwasserarmen Jahren auf. Es wird davon ausgegangen, dass im Betrachtungshorizont von 10 Jahren 2 trockene, 6 normale und 2 nasse Jahre auftreten.	20 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass der Abfluss im Gerinne genügend intensiv ist, um einen Fließprozess zu ermöglichen	100 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass sich in den Gerinnen der Chalberspissibäche und/oder des Staubbaches genügend Geschiebe befindet	100 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	20%
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	200 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Fluvialer Geschiebetransport im Gerinne <u>Voraussetzung:</u> wiederholte Stürze von wenigen 100'000 m ³ , wovon ein grosser Teil der Sturzablagerungen nicht direkt mobilisiert werden kann.		
Erosion Gerinne (Chalberspissi- und Oeschibach)	Länge Gerinne: 2'000 m	Erosionsquerschnitt: Ø EQ = 5 m ²	Erosionsvolumen pro Jahr 8'000 - 10'000 m ³
Ereignisdauer	jeweils wenige Stunden		
Spitzenabfluss	Q _{max} = 10 m ³ /s		
Fließgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 3 - 5 m/s, im Talboden < 3 m/s		
Hinweise	Ereignisse laufen im Gerinne ab, Geschiebeentnahmen während des Ereignisses sind nicht notwendig.		

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschwald)	6'500 m ³ Der GAP vermag das Geschiebe weitgehend zu fassen, so dass keine Ausuferungen auftreten. Die Dämme werden nicht belastet. Der Weitertransport von primär feinerem Material erfolgt durch das bestehende Gerinne.
Ablagerung im Dorf	---
Betroffene Gebiete	keine Ausuferungen
Wirkung auf Kander	gering Der Geschiebeeintrag beschränkt sich auf den Mündungsbereich. Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt GAP bis Dorfstrassenquerung ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Die Geschiebemenge dürfte vermutlich zu gering sein, um einen relevanten Rückstau der Kander zu verursachen. Angaben dazu finden sich im Teilbericht der Tertiärprozesse [11].

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm besteht und hält
Damm Zilfuri	Damm besteht und hält
Sammler (GAP)	GAP wirkt
Murgangnetz (GAP)	Netz wirkt

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	evtl. Baggern im GAP und bei der Einmündung in die Kander
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario E2 - Gerinneprozesse in 'normalen' Hochwasser-Jahren

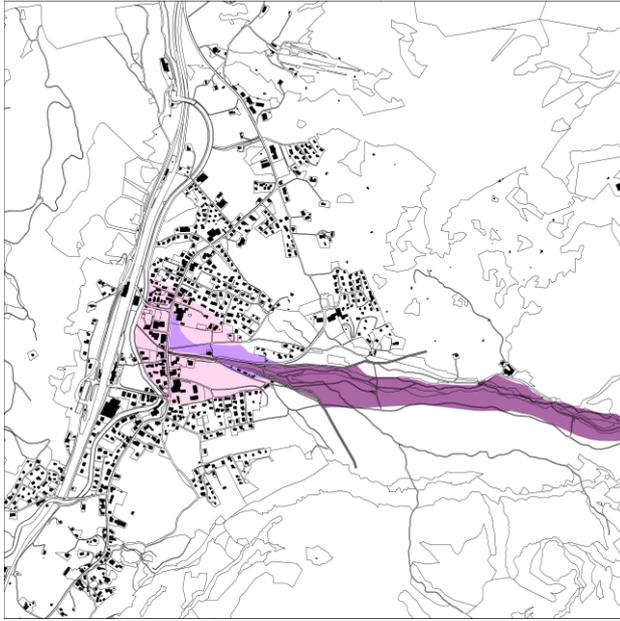
Beschreibung

Die Gerinne des Chalberspissibachs, des Staubbachs und des oberen Teils des Oeschibachs werden wiederholt durch einzelne Stürze aufgefüllt. Während Gewitter oder langandauernden Niederschlägen können in diesen Abschnitten Murgänge entstehen.

Das Szenario 'Gerinneprozesse in normalen Hochwasser-Jahren' geht von einer Hochwasser-Aktivität mit einigen mittelgrossen Hochwasserereignissen aus.

Wiederkehrende Ereignisse, welche abhängig von der Verfügbarkeit von Lockermaterial im Gerinne sind.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:⁷



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
---	---	---	---	---	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	Ausbaugrad 2020*:	Ausbaugrad 2021:
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichtserstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	Reduktion der Flächen und der Intensitäten aufgrund des grösseren Ablagerungsvolumens im GAP
Eintretensw'keit	unverändert

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 97 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 600 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 582 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich

Werte über 100 % bedeuten, dass das Ereignis mehr als 1 x innerhalb der Betrachtungsperiode von 10 Jahren auftritt.

⁷ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario R1: Rutschung aus Westflanke, bis 0.2 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021) Szenario S1: Felssturz aus Zentrum/Gipfel, bis 0.2 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021) Szenario S4: Stürze in den Staubbach, bis 1.5 Mio m ³ (Quelle GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Gerinne des Chalberspissibachs bzw. des Staubbachs.

Voraussetzungen Sekundärprozess

Die Szenarien E1 bis E3 stellen **Jahresbetrachtungen** dar. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens basiert im Wesentlichen auf den meteorologischen Voraussetzungen. Die hydrogeologischen Voraussetzungen und die morphodynamischen/morphogenetischen Voraussetzungen werden als gegeben vorausgesetzt (Wahrscheinlichkeit 100%)

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass genügend intensive Niederschläge auftreten. E2 tritt in normalen 'Hochwasser- Jahren' auf. Es wird davon ausgegangen, dass im Betrachtungshorizont von 10 Jahren 2 trockene, 6 normale und 2 nasse Jahre auftreten.	600 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass der Abfluss im Gerinne genügend intensiv ist, um einen Fließprozess zu ermöglichen	100 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass sich in den Gerinnen der Chalberspissibäche und/oder des Staubbaches genügend Geschiebe befindet	100 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	60%
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	600 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignisse im Gerinne und fluvialer Geschiebetransport		
Erosion Gerinne (Chalberspissi- und Oeschibach)	Länge Gerinne: 2'000 m	Erosionsquerschnitt: ∅ EQ = 5 - 10 m ²	Erosionsvolumen pro Jahr 40'000 m ³
	<u>Voraussetzung:</u> wiederholte Stürze von wenigen 100'000 m ³ , wovon ein grösserer Teil dieser Sturzablagerung nicht durch Gerinnemurgänge direkt mobilisiert werden kann.		
	<u>Annahme:</u> 2 Ereignisse à ca. 15'000 m ³ (Murgang) und 1 Ereignis à ca. 10'000 m ³ (fluvial)		
Ereignisdauer	jeweils wenige Stunden		
Spitzenabfluss	Q _{max} = 250 m ³ /s		
Fließgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 4 - 6 m/s, im Talboden 2 - 4 m/s		

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschiwald)	27'000 m ³ gelangen mit 2 Murgängen in den Ablagerungsraum 8'000 m ³ werden fluvial in den Ablagerungsraum transportiert
Ablagerung im Dorf	5'000 m ³ fließen weiter und landen das Gerinne nur mässig auf.
Betroffene Gebiete	keine Ausuferungen
Wirkung auf Kander	gering Der Geschiebeeintrag beschränkt sich auf den Mündungsbereich. Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt zwischen GAP und Dorfstrassenbrücke ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Die Geschiebemenge dürfte vermutlich zu gering sein, um einen relevanten Rückstau der Kander zu verursachen. Angaben dazu finden sich im Teilbericht der Tertiärprozesse [11].

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm besteht und hält
Damm Zilfuri	Damm besteht und hält
Sammler (GAP)	GAP wirkt
Murgangnetz (GAP)	Netz wirkt

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	evtl. Baggern im GAP und bei der Einmündung in die Kander
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs; mit konsequentem Baggern kann der Grossteil einer Jahresfracht im GAP kontrolliert werden (keine weiteren Ausuferungen)

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario E3 - Gerinneprozesse in Hochwasser-reichen Jahren

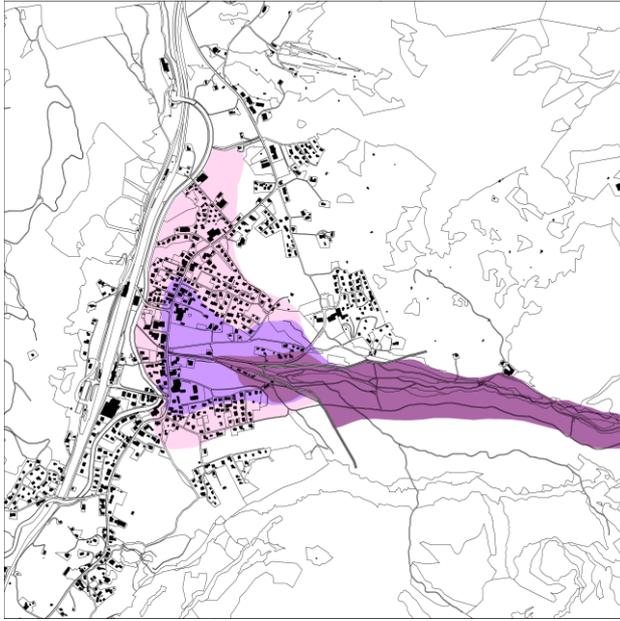
Beschreibung

Die Gerinne des Chalberspissibachs, des Staubbachs und des oberen Teils des Oeschibachs werden wiederholt durch einzelne Stürze aufgefüllt. Während Gewitter oder langandauernden Niederschlägen können in diesen Abschnitten Murgänge entstehen.

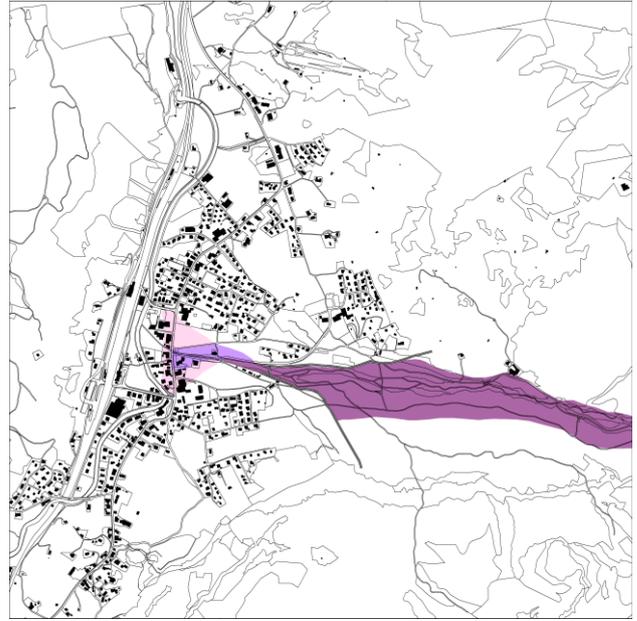
Das Szenario 'Gerinneprozesse in Hochwasser-reichen Jahren' geht von einer starken Hochwasser-Aktivität mit mehreren und grossen Hochwasserereignissen aus.

Wiederkehrende Ereignisse, welche abhängig von der Verfügbarkeit von Lockermaterial im Gerinne sind.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:⁸



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
---	---	---	---	---	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	Ausbaugrad 2020 *:	Ausbaugrad 2021:
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichtserstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	deutliche Reduktion der Flächen und Intensitäten aufgrund des grösseren Ablagerungsvolumens im GAP
Eintretensw'keit	von 'wahrscheinlich' (2020) auf 'sehr wahrscheinlich' (2021) angehoben

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 97 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 200 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 194 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich

Werte über 100 % bedeuten, dass das Ereignis mehr als 1 x innerhalb der Betrachtungsperiode von 10 Jahren auftritt.

⁸ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario R1: Rutschung aus Westflanke, bis 0.2 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021) Szenario S1: Felssturz aus Zentrum/Gipfel, bis 0.2 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021) Szenario S4: Mehrere grosse Stürze in den Staubbach, bis 1.5 Mio m ³ (Quelle GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Gerinne des Chalberspissibachs, bzw. des Staubbachs

Voraussetzungen Sekundärprozess

Die Szenarien E1 bis E3 stellen **Jahresbetrachtungen** dar. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens basiert im Wesentlichen auf den meteorologischen Voraussetzungen. Die hydrogeologischen Voraussetzungen und die morphodynamischen/morphogenetischen Voraussetzungen werden als gegeben vorausgesetzt (Wahrscheinlichkeit 100%)

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass genügend intensive Niederschläge auftreten. E3 tritt in hochwasserreichen Jahren auf. Es wird davon ausgegangen, dass im Betrachtungshorizont von 10 Jahren 2 trockene, 6 normale und 2 nasse Jahre auftreten.	200 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass der Abfluss im Gerinne genügend intensiv ist, um einen Fließprozess zu ermöglichen	100 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass sich in den Gerinnen der Chalberspissibäche und/oder des Staubbaches genügend Geschiebe befindet	100 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	20%
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	200 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignisse im Gerinne und fluvialer Geschiebetransport		
Erosion Gerinne (Chalberspissi- und Oeschibach)	Länge Gerinne: 2'000 m	Erosionsquerschnitt: Ø EQ = 10 - 25 m ²	Erosionsvolumen pro Jahr 100'000 m ³
	<u>Voraussetzung:</u> wiederholte Stürze von vielen 100'000 m ³ (bis 1.5 Mio), wovon ein grösserer Teil dieser Sturzablagerung nicht durch Gerinnemurgänge direkt mobilisiert werden kann.		
	<u>Annahme:</u> 1 Ereignisse à 40'000 m ³ und 1 Ereignis à 20'000 m ³ (Murgang); zusätzlich fluvialer Geschiebetransport von 40'000 m ³		
Ereignisdauer	einige Stunden		
Spitzenabfluss	Q _{max} = 450 m ³ /s		
Fließgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 4 - 6 m/s, im Talboden 2 - 4 m/s		

Wirkungsraum

Ereignisablauf und Verhalten GAP	Beispiel eines möglichen Verlaufs eines hochwasserreichen Jahres: Ereignis 1: gleichzeitiges Auftreten eines Murgangs von 40'000 m ³ und nachfolgendem fluvialem Geschiebetransport von 10'000 m ³ . 5'000 m ³ passieren das Netz (unter dem Netz und durch das Netz hindurch). Ereignis 2: fluviales Hochwasser von 10'000 m ³ → 5'000 m ³ fließen fluvial weiter Ereignis 3: Murgang 20'000 m ³ , gleichzeitig 20'000 m ³ fluvial → 10'000 m ³ fließen weiter Ereignis 4: 10'000 m ³ fluvial → 5'000 m ³ fließen fluvial weiter
Ablagerung im Dorf	Maximale Last in den Unterlauf: ca. 10'000 m ³ (Ereignis 3). Dies führt zu deutlichen Auflandungen und zu Ausuferungen mit Ablagerungsmächtigkeiten von 1 – 2 m bis zur Äusseren Dorfstrasse Wasser und Schlamm bis zur Kander.

Wirkung auf Kander	mittel bis gross Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt zwischen GAP und Dorfstrassenbrücke ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Zudem kann Geschiebe im Bereich Querung Bahnhofstrasse in die Kander eingetragen werden. Die Auflandungen dürften im Bereich von 0.5 - 1 m liegen. Durch die Geschiebeeinträge kann es zu Ausuferungen in der Kander kommen. Angaben dazu finden sich im Teilbericht der Tertiärprozesse [11].
---------------------------	--

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wirkt
Damm Zilfuri	Damm wirkt
Sammler (GAP)	GAP wirkt, ist aber mit fluvialem Geschiebetrieb überlastet.
Murgangnetz (GAP)	Netz wirkt teilweise, Geschiebe wird in den Unterlauf des Oeschibaches eingetragen

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	evtl. Baggern bei der Einmündung in die Kander
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario E4 – Gerinnemurgang Einzelereignis

Beschreibung

Die Gerinne des Chalberspissibachs, des Staubbachs und des oberen Teils des Oeschibachs werden wiederholt durch einzelne Stürze aufgefüllt. Während Gewitter oder langandauernden Niederschlägen können in diesen Abschnitten Murgänge entstehen.

Im Unterschied zu den Szenarien E1 bis E3, welche eine Jahresbetrachtung darstellen, wird beim Szenario E4 von einem grossen Murgangereignis aus den gefüllten Chalberspissibächen, bzw. Staubbach ausgegangen. Dabei können rund 180'000 m³ Geschiebe mobilisiert werden; 130'000 m³ als Murgang, 50'000 m³ fluvial.

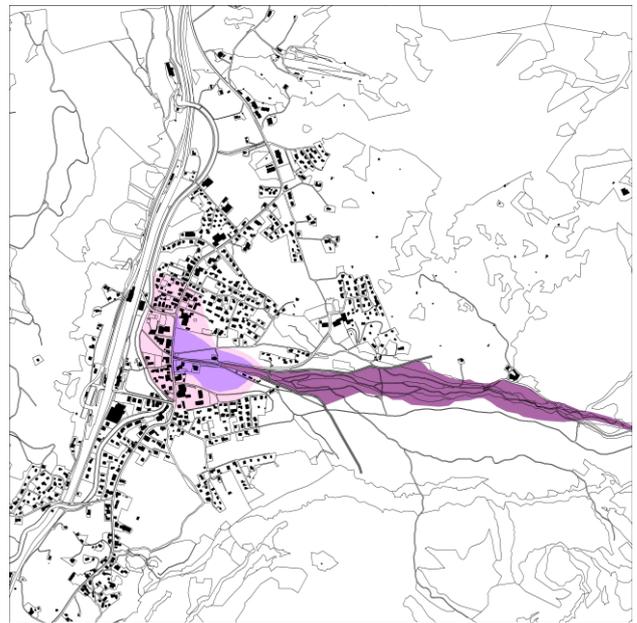
Wiederkehrendes Ereignis, welches abhängig von der Verfügbarkeit von Lockermaterial im Gerinne ist. Es können im gleichen Jahr zwei oder drei Ereignisse auftreten, wenn die Gerinne mit genügend Sturzschutt gefüllt werden.

Kann der GAP zwischen Ereignissen nicht geleert werden (Zugang nicht möglich, Ablagerung im GAP zu flüssig), sind die betroffenen Flächen deutlich grösser. Ein solches Sub-Szenario wurde jedoch nicht angenommen (siehe Seite 3).

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:⁹

2020 nicht untersucht

Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
--	---	--	---	--	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020*:</u>	<u>Ausbaugrad 2021:</u>
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	neues Szenario
Wirkungsflächen	
Eintretensw'keit	

⁹ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 55 - 65 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 122 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 67 - 79 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich

Werte über 100 % bedeuten, dass das Ereignis mehr als 1 x innerhalb der Betrachtungsperiode von 10 Jahren auftritt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario R2: Grosse Schuttrutschung, bis 0.6 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021) Szenario S2: Mehrere grosse Felsstürze, bis 1 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021) Szenario S4: Mehrere grosse Stürze in den Staubbach, bis 1.5 Mio m ³ (Quelle GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Gerinne des Chalberspissibachs, bzw. des Staubbachs

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Die Wahrscheinlichkeit, dass für einen grossen Gerinnemurgang genügend Wasser aus langandauernden Niederschlägen und Schneeschmelze zur Verfügung steht, wird auf 20% eingeschätzt.	20 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Wasserzufuhr vom Spitze Stei in die Chalberspissibäche/Staubbach erfolgt und nicht in Richtung Oeschinensee.	95 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass sich in den Gerinnen der Chalberspissibäche oder des Staubbachs genügend Sturzschutt befindet. Die Alimentierung der Gerinne mit Sturzschutt wird als sehr wahrscheinlich erachtet, es besteht jedoch die Möglichkeit, dass ein Teil des Geschiebes bereits durch vorangehende kleinere Ereignisse wieder ausgeräumt wurde.	80 %
	Wahrscheinlichkeit eines steilen Kegelaufbaus. Je steiler der Kegel/die Sturzschutthalde, umso weniger Wasser ist notwendig, um einen Murgang auszulösen	80 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozess:	12 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	122 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignisse im Gerinne und fluvialer Geschiebetransport		
Erosion Gerinne (Chalberspissi- und Oeschibach)	Länge Gerinne: 2000 m	Erosionsquerschnitt: Ø EQ = 65 m ² unterster Abschnitt: 14 m ² oberster Abschnitt: 214 m ²	Erosionsvolumen 130'000 m ³ Murgang 50'000 m ³ fluvial
	<u>Voraussetzung:</u> wiederholte Stürze von vielen 100'000 m ³ (bis 1.5 Mio), wovon ein grösserer Teil dieser Sturzablagerung nicht durch Gerinnemurgänge direkt mobilisiert werden kann.		
Ereignisdauer	einige Stunden		
Spitzenabfluss	Q _{max} = 450 m ³ /s (mehrere Schübe à 20'000 – 30'000 m ³)		
Fließgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 4 - 6 m/s, im Talboden 2 - 4 m/s		

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschiwald)	130'000 m ³ erreichen den GAP und bleiben hinter dem Netz liegen. Von den 50'000 m ³ fluvial transportiertem Material bleiben 20'000 m ³ im GAP und 30'000 fließen weiter.
Ablagerung im Dorf	ca. 30'000 m ³
Betroffene Gebiete	Fächerförmige Ablagerungen von 1 - 2 m Ablagerungsmächtigkeit bis zur Äusseren Dorfstrasse Wasser und Schlamm bis zur Kander.
Wirkung auf Kander	mittel bis gross Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt zwischen GAP und Dorfstrassenbrücke ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Zudem kann Geschiebe im Bereich Querung Bahnhofstrasse in die Kander eingetragen werden. Die Auflandungen dürften im Bereich von 0.5 - 1 m liegen. Durch die Geschiebeeinträge kann es zu Ausuferungen in der Kander kommen.

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm besteht und hält weitgehend.
Damm Zilfuri	Damm besteht und hält weitgehend.
Sammler (GAP)	GAP wirkt, ist aber mit fluvialem Geschiebetrieb überlastet.
Murgangnetz (GAP)	Netz ist überlastet und wird von Geschiebe überströmt

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	evtl. Baggern bei der Einmündung in die Kander
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario F1_{klein} - Schuttstrom ohne gleichzeitigen Starkniederschlag

Beschreibung Ein grösseres Sturzereignis (3 Mio m³) tritt ohne wesentlichen Niederschlag auf. Aus diesem entwickelt sich unmittelbar ein Murgang als Folge einer teilweise vorhandenen Sättigung der Sturzmasse und geringen Wasseraufnahmen im Oeschibach. Es wird von ca. 5 % der Masse ausgegangen, die sich verflüssigt. Ein solches Murgangereignis liegt in der Grössenordnung von 150'000 m³. Es wird ein sehr zähes, langsames Fliesen vorherrschen.

Einmaliges Ereignis; eine Wiederholung kann aber nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:¹⁰

Sub-Szenario F1_{klein} 2020 nicht dargestellt

Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

<p> Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude</p>
---	---	---

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020</u> *:	<u>Ausbaugrad 2021:</u>
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	neues Szenario, 2020 nur Ausprägung F1 _{gross} berücksichtigt
Wirkungsflächen	
Eintretensw'keit	

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 40 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 28 %	Qualitativ: wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 11 %	Qualitativ: wahrscheinlich

¹⁰ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario S3: Mehrere grosse Stürze bis 3 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Bereich Holzspicher

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass genügend Wasser aus Niederschlag oder Schneeschmelze vorhanden ist. Die Voraussetzung bezieht sich nicht auf die Auslösung der Rutschung/des Sturzes vom Spitze Stei, sondern auf die Umwandlung des Sturzprozesses in einen Murgang. Die Szenarien F1 _{klein} + gross werden bei eher trockenen Verhältnissen erwartet. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese meteorologischen Voraussetzungen erfüllt sind, liegt bei 70%.	70 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die potenzielle Murgangmasse genügend Wasser aufzunehmen vermag, damit es zu einem Fließprozess kommt. Dies ist abhängig von der Kornzusammensetzung.	80 %
	Wahrscheinlichkeit, dass Wasser aus dem Untergrund ausgepresst wird und die Mobilität weiter erhöht.	20 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzmasse in grossen Einzelpaketen abstürzt und nicht en bloc. Bei einem en bloc Sturz ist die Wahrscheinlichkeit einer genügenden Wassersättigung geringer. Gemäss Aussagen GEOTEST ist ein paketweises Abstürzen wahrscheinlicher.	50 %
	Wahrscheinlichkeit, dass die Hauptfließrichtung Richtung Kandersteg verläuft.	50 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozesse:	2.8 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	28 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignis unmittelbar aus Sturzereignis, mehrere grosse Schübe von einigen 10'000 m ³ , sehr zähflüssig
Ereignisdauer	einige Minuten pro Schub
Ereignisvolumen	150'000 m ³ (rund 5 % der Sturzmasse fließen als Murgang weiter)
Spitzenabfluss	Q _{max} = 300 - 500 m ³ /s (grosse Variation möglich)
Fließgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 3 – 4 m/s, in den flachen Abschnitten 1 – 2 m/s
Reichweite	Die maximale Reichweite (Pauschalgefälle) von grossen zähflüssigen Murgängen beträgt vermutlich mehr als 20 %. Das Pauschalgefälle wird aufgrund des geringeren Murgangvolumens etwas kleiner als Bei F1 _{gross} angesetzt. Bei einer angenommenen Startzone im Bereich Holzspicherwald könnten die Murschübe bis auf eine Kote ca. 1250 m fließen.

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschwald)	150'000 m ³ lagern sich im Gerinne oberhalb des GAP und im GAP ab. Kleine Mengen werden im gesamten GAP verschwemmt.
Ablagerung im Dorf	Das Geschiebe wird im GAP zurückgehalten
Betroffene Gebiete	keine
Wirkung auf Kander	sehr gering Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt zwischen GAP und Dorfstrassenbrücke ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Aufgrund des eher zähflüssigen Fließprozesses wird nur wenig Geschiebe durch den Oeschibach in die Kander eingetragen.

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wirkt
Damm Zilfuri	Damm wirkt
Sammler (GAP)	GAP wirkt
Murgangnetz (GAP)	Netz wirkt, Eintrag von Geschiebe in den Unterlauf des Oeschibachs ist gering

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

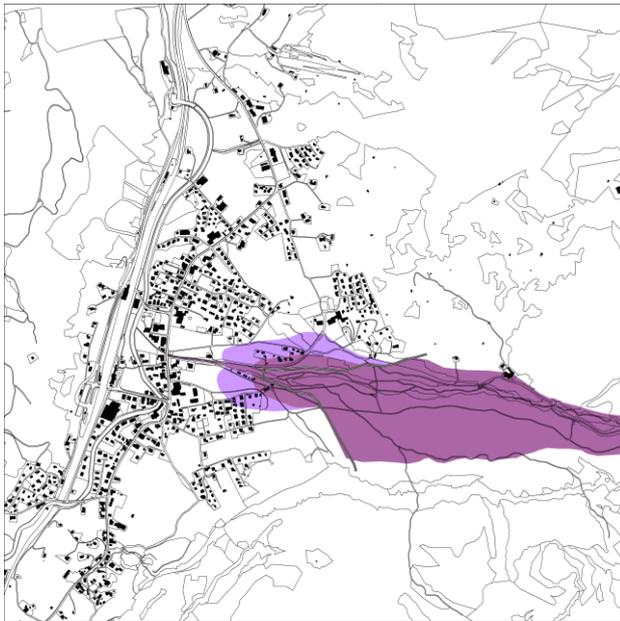
Szenario F1_{gross} - Schuttstrom ohne gleichzeitigen Starkniederschlag

Beschreibung

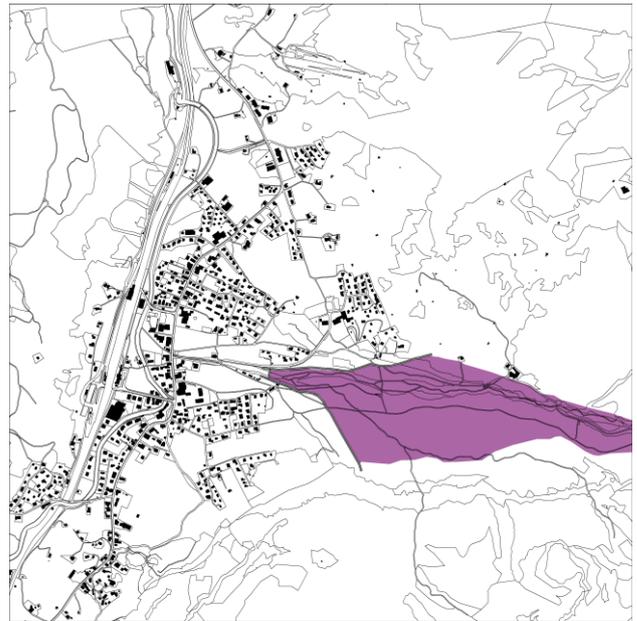
Ein grösseres Sturzereignis (8 Mio m³) tritt ohne wesentlichen Niederschlag auf. Aus diesem entwickelt sich unmittelbar ein Murgang als Folge einer teilweise vorhandenen Sättigung der Sturzmasse und geringen Wasseraufnahmen im Oeschibach. Es wird von ca. 5 % der Masse ausgegangen, die sich verflüssigt; ein grösserer Prozentsatz als 5 % wäre möglich, wird hier aber als wenig wahrscheinlich erachtet und nicht weiterverfolgt. Die Grösse eines solchen Murganges kann eine Viertel bis eine halbe Million m³ betragen. Es wird ein sehr zähes, langsames Fliesen vorherrschen.

Einmaliges Ereignis; eine Wiederholung kann aber nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:¹¹



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
--	---	--	---	--	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	Ausbaugrad 2020*:	Ausbaugrad 2021:
Damm Oeschwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	Reduktion der Flächen und der Intensitäten aufgrund des grösseren Ablagerungsvolumens im GAP
Eintretensw'keit	von 'wenig wahrscheinlich (2020) auf 'wahrscheinlich' (2021) angehoben

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 33 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 90 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 30 %	Qualitativ: <u>wahrscheinlich</u> (Wahl) bis sehr wahrscheinlich

¹¹ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario S5: Grosse Bergsturz bis 8 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Bereich Holzspicher

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass genügend Wasser aus Niederschlag oder Schneeschmelze vorhanden ist. Die Voraussetzung bezieht sich nicht auf die Auslösung der Rutschung/des Sturzes vom Spitze Stei, sondern auf die Umwandlung des Sturzprozesses in einen Murgang. Die Szenarien F1 _{klein + gross} werden bei eher trockenen Verhältnissen erwartet. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese meteorologischen Voraussetzungen erfüllt sind, liegt bei 70%.	70 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die potenzielle Murgangmasse genügend Wasser aufzunehmen vermag, damit es zu einem Fließprozess kommt. Dies ist abhängig von der Kornzusammensetzung.	80 %
	Wahrscheinlichkeit, dass Wasser aus dem Untergrund ausgepresst wird und die Mobilität weiter erhöht.	40 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzmasse in grossen Einzelpaketen abstürzt und nicht en bloc. Bei einem en bloc Sturz ist die Wahrscheinlichkeit einer genügenden Wassersättigung geringer. Gemäss Aussagen GEOTEST ist ein paketweises Abstürzen wahrscheinlicher.	50 %
	Wahrscheinlichkeit, dass die Hauptfließrichtung Richtung Kandersteg verläuft.	80 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozesse:	9 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	90 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignis unmittelbar aus Sturzereignis, wenige Schübe, sehr zähflüssig
Ereignisdauer	einige Minuten pro Schub
Ereignisvolumen	400'000 m ³ (rund 5 % der Sturzmasse fließen als Murgang weiter)
Spitzenabfluss	Q _{max} = 300 - 800 m ³ /s (grosse Variation möglich)
Fließgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 4 – 8 m/s, in den flachen Abschnitten 1 – 3 m/s
Reichweite	Die maximale Reichweite (Pauschalgefälle) von grossen Murgängen beträgt ca. 18 – 19 % (Minstigerbach, Durnagel und andere). Aufgrund des grösseren Volumens wird das Pauschalgefälle etwas kleiner angenommen als bei F1 _{klein} . Bei einer angenommenen Startzone im Bereich des Holzspicherwaldes könnten die Murschübe bis auf eine Kote 1200 m fließen; auf Grund der hohen Zähigkeit ist ein Endpunkt auch auf Kote 1250 m oder 1300 m möglich.

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschwald)	150'000- 200'000 m ³ werden im Gerinne oberhalb des KW abgelagert 200'000 m ³ lagern sich zwischen KW und GAP ab (inkl. Oeschwald).
Ablagerung im Dorf	Es werden keine oder nur geringfügige Ablagerung erwartet
Betroffene Gebiete	keine
Wirkung auf Kander	gering Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt zwischen GAP und Dorfstrassenbrücke ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Aufgrund des eher zähflüssigen Fließprozesses wird nur wenig Geschiebe durch den Oeschibach in die Kander eingetragen.

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wirkt
Damm Zilfuri	Damm wirkt
Sammler (GAP)	GAP ist an Belastungsgrenze
Murgangnetz (GAP)	Netz wirkt, Eintrag von Geschiebe in den Unterlauf des Oeschibachs ist gering

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario F2_{klein} - Schuttstrom bei gleichzeitigem Starkniederschlag

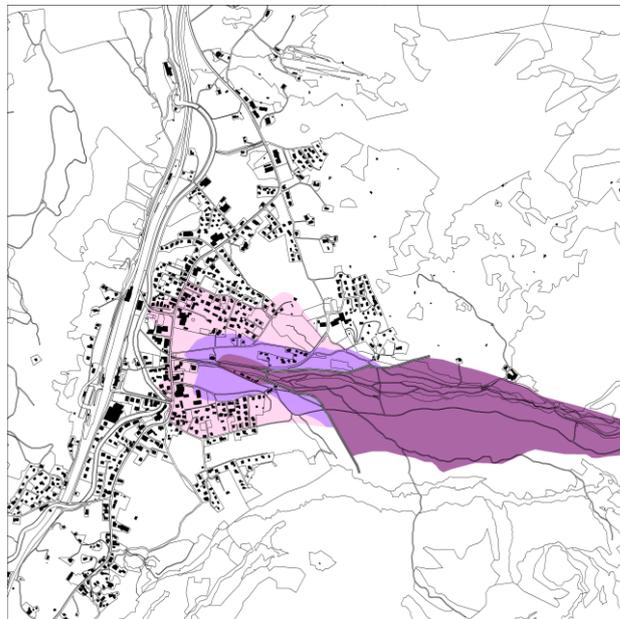
Beschreibung Starkniederschläge lösen ein Sturzereignis von rund 3 Mio m³ aus. Aus diesem entwickelt sich unmittelbar ein grosser Murgang als Folge einer teilweise vorhandenen Sättigung der Sturzmasse und geringen Wasseraufnahmen im Oeschibach. Es wird von ca. 10 % der Masse ausgegangen (die sich verflüssigt). Dies entspricht ca. ¼ Mio m³.

Einmaliges Ereignis; eine Wiederholung kann aber nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:¹²

Sub-Szenario F2_{klein} 2020 nicht dargestellt

Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

<p> Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fliessgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fliessgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt</p>	<p> Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fliessgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude</p>
--	--	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020</u> *:	<u>Ausbaugrad 2021:</u>
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	neues Szenario, 2020 nur Ausprägung F2 _{gross} berücksichtigt
Wirkungsflächen	
Eintretensw'keit	

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 40 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 24 %	Qualitativ: wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 10 %	Qualitativ: wahrscheinlich bis <u>möglich</u> (Wahl)

¹² Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario S3: Mehrere grosse Stürze bis 3 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Bereich Holzspicher

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass genügend Wasser aus Niederschlag oder Schneeschmelze vorhanden ist. Die Voraussetzung bezieht sich nicht auf die Auslösung der Rutschung/des Sturzes vom Spitze Stei, sondern auf die Umwandlung des Sturzprozesses in einen Murgang. Die Szenarien F2 _{klein} + gross werden bei nassen Verhältnissen erwartet. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese meteorologischen Voraussetzungen erfüllt sind, liegt bei 40%.	40 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die potenzielle Murgangmasse genügend Wasser aufzunehmen vermag, damit es zu einem Flie遝prozess kommt. Dies ist abhängig von der Kornzusammensetzung.	80 %
	Wahrscheinlichkeit, dass Wasser aus dem Untergrund ausgepresst wird und die Mobilität weiter erhöht. Die Wahrscheinlichkeit wird gegenüber F1 als leicht höher eingestuft, da auch im Untergrund aufgrund der nassen Verhältnisse mehr Wasser vorhanden ist.	30 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzmasse in grossen Einzelpaketen abstürzt und nicht en bloc. Bei einem en bloc Sturz ist die Wahrscheinlichkeit einer genügenden Wassersättigung geringer. Gemäss Aussagen GEOTEST ist ein paketweises Abstürzen wahrscheinlicher.	50 %
	Wahrscheinlichkeit, dass die Hauptfliessrichtung Richtung Kandersteg verläuft.	50 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozesse:	2.4 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	24 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignis unmittelbar aus Sturzereignis, mehrere, langgezogene grosse Schübe
Ereignisdauer	einige Minuten pro Schub
Ereignisvolumen	250'000 - 300'000 m ³ (rund 10 % der Sturzmasse fließen als Murgang weiter)
Spitzenabfluss	Q _{max} = 300 - 800 m ³ /s (grosse Variation der einzelnen Schübe möglich)
Flie遝geschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 5 m – 9 m/s, in den flachen Abschnitten 1 – 3 m/s
Reichweite	Die Berechnungen der Reichweite wurden mit dem 2-Parameter-Model von Perla, Cheng und McLung vorgenommen (Flow-R) und mit RAMMS bestätigt. Mit einem mü-Wert von 0.05 ergibt sich eine Reichweite bis knapp oberhalb der Äusseren Dorfstrasse. Ähnliche mü-Werte wurden für diverse Bäche im Rahmen des NFP31 [42] gefunden.

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschwald)	50'000 m ³ werden im Gerinne oberhalb des KW abgelagert 150'000 m ³ werden in den GAP eingetragen Der GAP ist überlastet. Weitere ca. 50'000 m ³ überfließen die Dämme.
Ablagerung im Dorf	ca. 50'000 m ³
Betroffene Gebiete	Oberer Teil des Kegels mit Murgangablagerungen; Übersarung ca. bis zur Äusseren Dorfstrasse.
Wirkung auf Kander	mittel bis gross Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt GAP bis Dorfstrassenquerung ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Zudem kann Geschiebe im Bereich Querung Bahnhofstrasse in die Kander eingetragen werden. Die Aufladungen dürften im Bereich von rund 1 m liegen. Durch die Geschiebeeinträge kann es zu Ausuferungen in der Kander kommen. Angaben dazu finden sich im Teilbericht Kander (in Bearbeitung).

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wird im unteren Abschnitt überströmt und teilweise erodiert
Damm Zilfuri	Damm wird im unteren Abschnitt überströmt und teilweise erodiert
Sammler (GAP)	GAP ist überlastet.
Murgangnetz (GAP)	Netz ist überlastet und wird überströmt

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	Einsatz von Maschinen aus Sicherheitsgründen kaum möglich
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

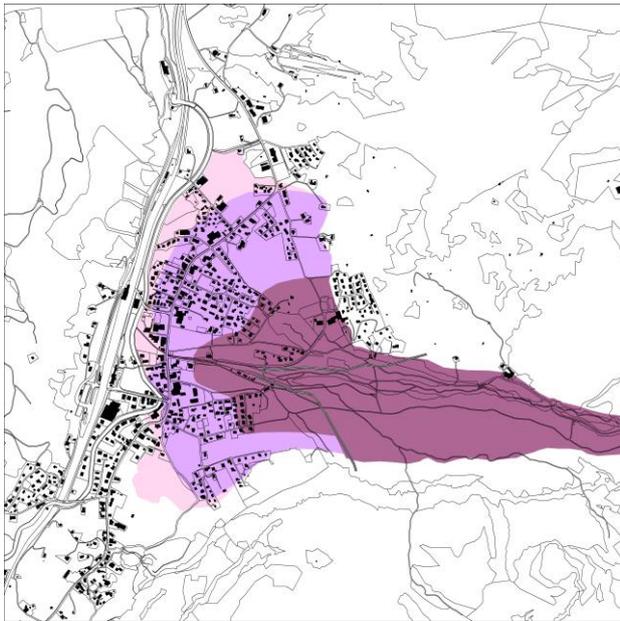
Szenario F2_{gross} - Schuttstrom bei gleichzeitigem Starkniederschlag

Beschreibung

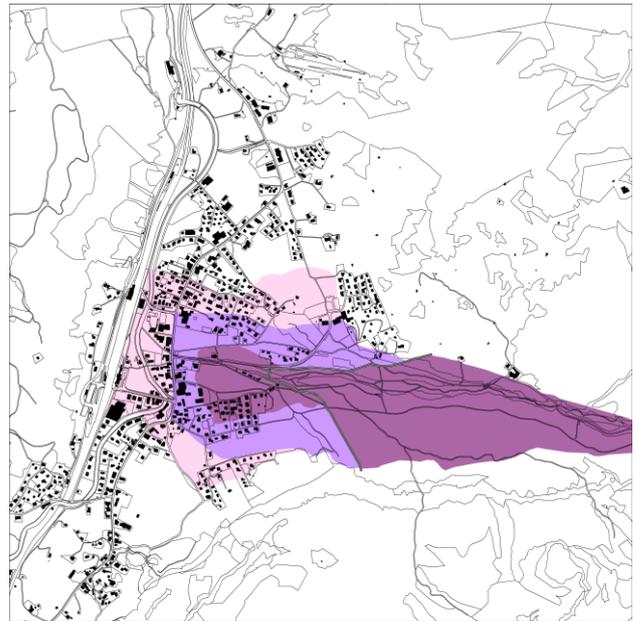
Starkniederschläge lösen ein grösseres Sturzereignis (8 Mio m³) aus. Aus diesem entwickelt sich unmittelbar ein grosser Murgang als Folge einer teilweise vorhandenen Sättigung der Sturzmasse und geringen Wasseraufnahmen im Oeschibach. Es wird von ca. 10 % der Masse ausgegangen, die sich verflüssigt. Die Grösse eines solchen Murganges kann deshalb eine halbe bis eine Million m³ betragen. Es wird ein mässig zähes Fliesen vorherrschen mit nachfolgendem Verschwemmen von Schutt und Schlamm.

Einmaliges Ereignis; eine Wiederholung kann aber nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:¹³



Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
--	---	--	---	--	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	Ausbaugrad 2020 *:	Ausbaugrad 2021:
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	unverändert
Wirkungsflächen	Insgesamt deutliche Reduktion der Flächen und der Intensitäten aufgrund des grösseren Ablagerungsvolumens im GAP. Lokal (Gebiet Chappeli) grössere Flächen mit starker Einwirkung. Grund: Die Modellierung mit RAMMS zeigten, dass die Reichweiten in der Beurteilung 2020 tendenziell zu optimistisch beurteilt wurden. Die grösseren Reichweiten führen auch dazu, dass die Flächen mit starker und mittlerer Intensität grösser ausfallen.
Eintretensw'keit	von 'möglich' (2020) auf 'wahrscheinlich' (2021) angehoben

¹³ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 33 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 51 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Gesamt-Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 17 %	Qualitativ: wahrscheinlich

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario S5: Grosser Bergsturz bis 8 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Bereich Holzspicher

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass genügend Wasser aus Niederschlag oder Schneeschmelze vorhanden ist. Die Voraussetzung bezieht sich nicht auf die Auslösung der Rutschung/des Sturzes vom Spitze Stei, sondern auf die Umwandlung des Sturzprozesses in einen Murgang. Die Szenarien F2 _{klein + gross} werden bei nassen Verhältnissen erwartet. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese meteorologischen Voraussetzungen erfüllt sind, liegt bei 40%.	40 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die potenzielle Murgangmasse genügend Wasser aufzunehmen vermag, damit es zu einem Fließprozess kommt. Dies ist abhängig von der Kornzusammensetzung.	80 %
	Wahrscheinlichkeit, dass Wasser aus dem Untergrund ausgepresst wird und die Mobilität weiter erhöht. Die Wahrscheinlichkeit wird gegenüber F1 als leicht höher eingestuft, da auch im Untergrund aufgrund der nassen Verhältnisse mehr Wasser vorhanden ist.	40 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzmasse in grossen Einzelpaketen abstürzt und nicht en bloc. Bei einem en bloc Sturz ist die Wahrscheinlichkeit einer genügenden Wassersättigung geringer. Gemäss Aussagen GEOTEST ist ein paketweises Abstürzen wahrscheinlicher.	50 %
	Wahrscheinlichkeit, dass die Hauptfließrichtung Richtung Kandersteg verläuft.	80 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozesse:	5.1 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	51 %

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignis unmittelbar aus Sturzereignis, mehrere, langgezogene Schübe
Ereignisdauer	einige Minuten pro Schub
Ereignisvolumen	750'000 m ³ (rund 10 % der Sturzmasse fließen als Murgang weiter)
Spitzenabfluss	Q _{max} = 300 - 800 m ³ /s (grosse Variation möglich)
Fließgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 5 m – 9 m/s, in den flachen Abschnitten 1 – 3 m/s
Reichweite	Die maximale Reichweite (Pauschalgefälle) von grossen Murgängen beträgt ca. 18 – 19 % (Minstigerbach, Durnagel und andere). Bei einer angenommenen Startzone im Bereich Holzspicher könnten die Murschübe bis auf eine Kote 1210 m fließen. Die Berechnungen mit dem 2-Parameter-Model von Perla, Cheng und McLung bestätigen diese Reichweite mit einem mü-Wert von 0.1; bei einem geringeren mü-Wert (0.04-0.08, was beispielsweise beim Durnagel erfüllt war) ergeben sich etwas grössere Reichweiten bis ca. Kote 1185 m. Für die Kartierung der betroffenen Flächen wurde dieser Wert verwendet.

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschiwald)	200'000 m ³ wird im Gerinne oberhalb des KW abgelagert 500'000 m ³ lagern sich zwischen KW und unterhalb GAP ab (ganze Breite Oeschiwald).
Ablagerung im Dorf	bei den gleichzeitig auftretenden Niederschlägen werden grössere Volumen fluvial weitertransportiert werden (ca. 50'000 m ³)
Betroffene Gebiete	Fächerartige Murgangablagerungen und Übersarung bis zur Äussere Dorfstrasse, unterhalb Wasser und Schlamm
Wirkung auf Kander	gross Die Transportkapazität des Oeschibachs im Abschnitt zwischen GAP und Dorfstrassenbrücke ist massgebend für die eingetragene Geschiebemenge. Zudem kann Geschiebe im Bereich Querung Bahnhofstrasse in die Kander eingetragen werden. Die Auflandungen dürften im Bereich von rund 1 m liegen. Durch die Geschiebeeinträge kann es zu Ausuferungen in der Kander kommen.

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wird im unteren Abschnitt überflossen und teilweise erodiert
Damm Zilfuri	Damm wird überflossen und teilweise erodiert
Sammler (GAP)	GAP ist überlastet.
Murgangnetz (GAP)	Netz ist überlastet und wird überströmt, bzw. kann zerstört werden.

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	Einsatz von Maschinen aus Sicherheitsgründen kaum möglich
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario F3_{klein} – Volumenstrom klein

Beschreibung

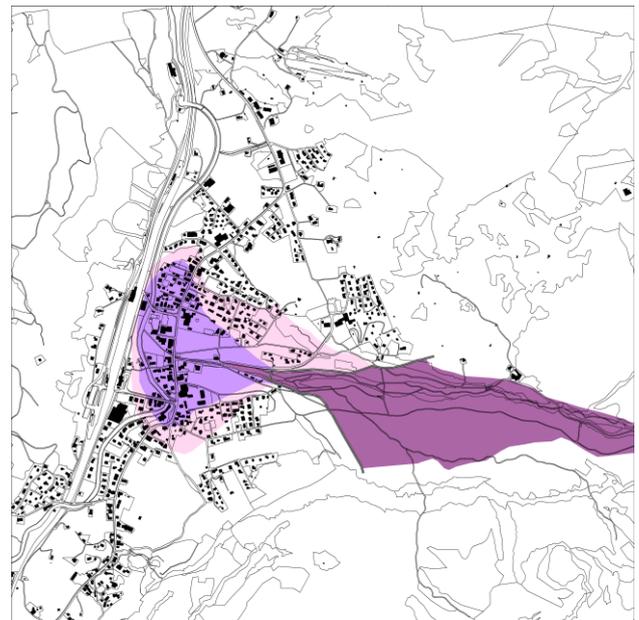
Starkniederschläge lösen ein Sturzereignis von rund 3 Mio m³ aus. Im Gegensatz zu den Schuttströmen der Szenarien F1 und F2, findet beim Volumenstrom ein förderbandähnliches Abstürzen und Weiterfliessen statt. Der Wasseranteil in der Sturzmasse ist höher als beim nassen Schuttstrom (Szenario F2). Es wird von ca. 10 % der Masse ausgegangen, die sich verflüssigt und als Volumenstrom weiterfliessen. Die Grösse eines solchen Murganges kann einige Hunderttausend m³ betragen. Es wird ein eher dünnflüssiges Fließen vorherrschen, mit nachfolgendem Verschwemmen von Schutt und Schlamm.

Einmaliges Ereignis; eine Wiederholung kann aber nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:¹⁴

Szenario F3_{klein} 2020 nicht berücksichtigt

Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
--	---	--	---	--	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	Ausbaugrad 2020*:	Ausbaugrad 2021:
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichterstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	neues Szenario
Wirkungsflächen	
Eintretensw'keit	

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 40 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 39 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Gesamt- Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 16 %	Qualitativ: wahrscheinlich

¹⁴ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario S3: Mehrere grosse Stürze bis 3 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Bereich Holzspicher

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass es über eine längere Zeit sehr intensiv regnet.	10 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die abstürzenden Gesteinspakete über genügend Wasser verfügen, damit es zu einem Fließprozess kommt. Dies ist abhängig von der Kornzusammensetzung.	70 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzmasse in grossen Einzelpaketen abstürzt und nicht en bloc. Bei einem en bloc Sturz ist die Wahrscheinlichkeit einer genügenden Wassersättigung geringer. Gemäss Aussagen GEOTEST ist ein paketweises Abstürzen wahrscheinlicher.	80 %
	Wahrscheinlichkeit, dass die Hauptflussrichtung Richtung Kandersteg verläuft.	70 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozesse:	3.9 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	39 %
Hinweis	Den Szenarien F3 _{klein} und F3 _{gross} wurden dieselben Wahrscheinlichkeiten zugewiesen. Die Voraussetzungen der verschiedenen Faktoren unterscheiden sich nicht massgeblich.	

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignis unmittelbar aus Sturzereignis, mehrere, langgezogene Schübe ('fließbandartig')
Ereignisdauer	einige Minuten pro Schub
Ereignisvolumen	300'000 m ³ (rund 10 % der Sturzmasse fließen als Murgang weiter)
Spitzenabfluss	Q _{max} = 200 - 400 m ³ /s (grosse Variation möglich)
Fließgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 5 m – 10 m/s, in den flachen Abschnitten 1 – 4 m/s
Reichweite	Die Berechnungen der Reichweite erfolgte mit dem 2-Parameter-Model von Perla, Cheng und McLung mit einem mü-Wert von 0.02 (dies entspricht sehr liquiden Verhältnissen). Solche Murschübe können die Kander erreichen.

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschiwald)	50'000 m ³ wird im Gerinne oberhalb des KW abgelagert 200'000 m ³ lagern sich zwischen KW und im GAP ab.
Ablagerung im Dorf	Als Folge von gleichzeitig auftretenden Niederschlägen, werden ca. 50'000 m ³ als Murgang-ähnliche Prozesse weitertransportiert.
Betroffene Gebiete	Fächerartige Murgangablagerungen und Übersarung bis zur Kander, teilweise darüber hinaus
Wirkung auf Kander	gross

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wirkt
Damm Zilfuri	Damm wird überströmt und teilweise erodiert.
Sammler (GAP)	GAP ist überlastet.
Murgangnetz (GAP)	Netz ist überlastet, Geschiebe wird in den Unterlauf eingetragen

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	Einsatz von Maschinen aus Sicherheitsgründen kaum möglich
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

Szenario F3_{gross} – Volumenstrom gross

Beschreibung

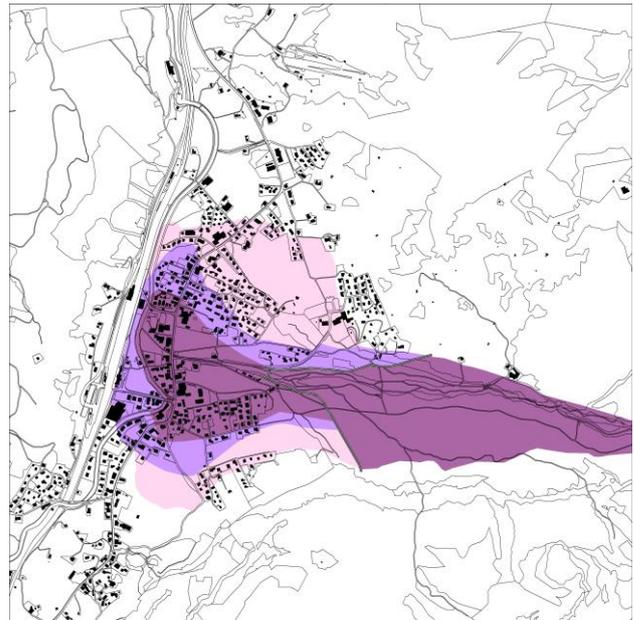
Starkniederschläge lösen ein grosses Sturzeignis (rund 3 Mio m³) aus. Im Gegensatz zu den Schuttströmen der Szenarien F1 und F2, findet beim Volumenstrom ein förderbandähnliches Abstürzen und Weiterfliessen statt. Der Wasseranteil in der Sturzmasse ist höher als beim nassen Schuttstrom (Szenario F2). Es wird von ca. 10 % der Masse ausgegangen, die sich verflüssigt und als Volumenstrom weiterfliessen. Die Grösse eines solchen Murganges kann eine halbe bis eine Million m³ betragen. Es wird ein eher dünnflüssiges Fliessen vorherrschen, mit nachfolgendem Verschwemmen von Schutt und Schlamm.

Einmaliges Ereignis; eine Wiederholung kann aber nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Wirkungsflächen Stand Juni 2020:¹⁵

Szenario F3_{gross} 2020 nicht berücksichtigt

Wirkungsflächen Stand Dezember 2021:



Legende:

	Ablagerungsmächtigkeit > 2 m oder Fließgeschwindigkeit > 2 m/s Grösste transportierte Blöcke > 1 m Gebäude werden zerstört		Ablagerungsmächtigkeit 1 - 2 m oder Fließgeschwindigkeit 0.5 - 2 m/s Grösste transportierte Blöcke < 1 m Gebäude werden beschädigt		Ablagerungsmächtigkeit < 1 m oder Fließgeschwindigkeit < 0.5 m/s Wasser und Schlamm dringt in Gebäude
--	---	--	---	--	--

Berücksichtigter Ausbaugrad Schutzbauten

	<u>Ausbaugrad 2020*:</u>	<u>Ausbaugrad 2021:</u>
Damm Oeschiwald	3 m	3 m
Damm Zilfuri	3 m	5 m
GAP-Abschluss	Dämme 3 m, Querriegel aus Blocksteinen	Dämme 2.5 – 4 m, Murgangnetz vorhanden

* bei Berichtserstellung erst teilweise ausgeführt, berücksichtigt wie geplant

Änderungen gegenüber 2020

Prozessgrösse	neues Szenario
Wirkungsflächen	
Eintretensw'keit	

Eintretenswahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 10 Jahren

(Klassierung: sehr wahrscheinlich / wahrscheinlich / möglich / wenig wahrscheinlich)

Primärprozess	Quantitativ: 33 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Sekundärprozess	Quantitativ: 39 %	Qualitativ: sehr wahrscheinlich
Gesamt- Wahrscheinlichkeit	Quantitativ: 13 %	Qualitativ: wahrscheinlich

¹⁵ Durch die Kander verursachte Ausuferungen sind in den Karten nicht dargestellt.

Voraussetzungen Sturzprozess

Sturzscenario	Szenario S5: Grosser Bergsturz bis 8 Mio. m ³ (Quelle: GEOTEST 2021)
Form und Lage Sturzmasse	Ablagerung hauptsächlich unterhalb der Felswand und im Bereich Holzspicher

Voraussetzungen Sekundärprozess

Meteorologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass es über eine längere Zeit sehr intensiv regnet.	10 %
Hydrogeologische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die abstürzenden Gesteinspakete über genügend Wasser verfügen, damit es zu einem Fliessprozess kommt. Dies ist abhängig von der Kornzusammensetzung.	70 %
Morphodynamische /morphogenetische Voraussetzungen	Wahrscheinlichkeit, dass die Sturzmasse in grossen Einzelpaketen abstürzt und nicht en bloc. Bei einem en bloc Sturz ist die Wahrscheinlichkeit einer genügenden Wassersättigung geringer. Gemäss Aussagen GEOTEST ist ein paketweises Abstürzen wahrscheinlicher.	80 %
	Wahrscheinlichkeit, dass die Hauptfliessrichtung Richtung Kandersteg verläuft.	70 %
	Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit Sekundärprozesse:	3.9 %
	Gesamtwahrscheinlichkeit Sekundärprozess in 10 Jahren:	39 %

Hinweis Den Szenarien F3klein und F3gross wurden dieselben Wahrscheinlichkeiten zugewiesen. Die Voraussetzungen der verschiedenen Faktoren unterscheiden sich nicht massgeblich.

Prozesskennwerte

Prozessart	Murgangereignis unmittelbar aus Sturzereignis, mehrere, langgezogene Schübe ('fliessbandartig')
Ereignisdauer	wenige Stunden
Ereignisvolumen	750'000 m ³ (rund 10 % der Sturzmasse fliessen als Murgang weiter)
Spitzenabfluss	Q _{max} = 200 - 400 m ³ /s (grosse Variation möglich)
Fliessgeschwindigkeit	In den steilen Abschnitten 6 m – 12 m/s, in den flachen Abschnitten 2 – 4 m/s
Reichweite	Die Berechnungen der Reichweite erfolgte mit dem 2-Parameter-Model von Perla, Cheng und McLung mit einem mü-Wert von 0.02 (dies entspricht sehr liquiden Verhältnissen). Solche Murschübe können die Kander erreichen.

Wirkungsraum

Ablagerung im (GAP, Oeschiwald)	250'000 m ³ wird im Gerinne oberhalb des KW abgelagert 250'000 m ³ lagern sich zwischen KW und GAP ab.
Ablagerung im Dorf Kandersteg	Als Folge von gleichzeitig auftretenden Niederschlägen werden ca. 250'000 m ³ murgangartig weitertransportiert.
Betroffene Gebiete	Fächerartige Murgangablagerungen bis zur Kander, teilweise darüber hinaus
Wirkung auf Kander	gross

Verhalten Schutzbauten

Damm Oeschiwald	Damm wird im unteren Abschnitt überströmt und teilweise erodiert.
Damm Zilfuri	Damm wird überströmt und teilweise erodiert.
Sammler (GAP)	GAP ist überlastet.
Murgangnetz (GAP)	Netz wird überlastet/zerstört

Intervention

Vor Ereignis	Freihalten des GAPs
Während Ereignis	Einsatz von Maschinen aus Sicherheitsgründen kaum möglich
Nach Ereignis	Freiräumen des GAPs

Hinweise

Unsicherheiten	Die Beurteilung der Gefahrenprozesse ist immer mit Unsicherheiten behaftet. Dies betrifft sowohl die Primärprozesse, welche die Voraussetzung für die Sekundärprozesse darstellen, als auch die Sekundärprozesse selbst. Das hier beschriebene Szenario, die Annahmen zur Prozessentstehung und zum Prozessausmass wurden nach bestem Wissen und Gewissen beurteilt, basierend auf dem Wissensstand Herbst 2021.
-----------------------	--

TEIL III – Anhang

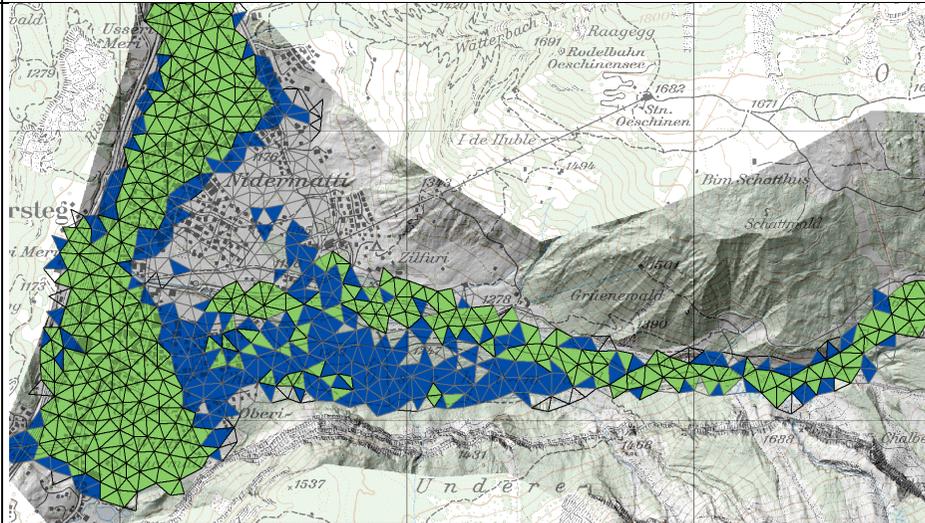
Dokumentation der massgebenden Simulationen

Massgebende Modellierungen RAMMS/FlowR (basierend auf dem Terrainmodell vom 28. Juni 2021)

Szenario	Voraussetzung Primärprozess	MG Volumen	mü	RAMMS (massgebende Runs)	FlowR-Run
A1 – kleine Flutwelle	3 Mio (S3)	260'000 m ³		➔ Basement GIUB	
A3 – grosse Flutwelle	20 Mio (S6)	3.1 Mio m ³		➔ Basement GIUB	
B – Erosion in Sturzablagung	8 Mio (S5)	155'000 m ³	0.1	Batch_4/Run19_130_1_2021Block, mü 0.1, 130'000	
E1 – GerinneMG trockenes Jahr	200'000 m ³ (R1, S1)	10'000 m ³ /Jahr	(dünnflüssig)		
E2- GerinneMG Normaljahr	200'000 m ³ (R1, S1)	40'000 m ³ /Jahr			
E3- GerinneMG nasses Jahr	200'000 m ³ (R1, S1)	100'000 m ³ /Jahr			
E4 – GerinneMG – Grossereignis	600'000 m ³ (R2) 600'000 m ³ (S2)	130'000 m ³ Murgang 50'000 m ³ fluvial	0.03 (eher flüssig)	Batch5/Run18, mü 0.03, 130'000	
F1-klein – Schuttstrom trocken	3 Mio (S3)	150'000 m ³	0.1	Batch_4/Run19_130_1_2021, mü 0.1, 130'000 2)	Run 100_0.09: Volumen 130'000 m ³ , Mü = 0.09, Stand 2021
F1-gross – Schuttstrom trocken	8 Mio (S5)	400'000 m ³	0.1	Batch_3/Run11_500_1_2021Block, mü 0.1, 500'000	Run102: Volumen = 500'000 m ³ , Mü = 0.09, Stand 2021
F2-klein – Schuttstrom nass	3 Mio (S3)	250'000 m ³	0.05	Mod_DEM_2021_2m/Run106, mü 0.05, 300'000	Run 104: Volumen 250'000 m ³ , Mü = 0.08, Stand 2021
F2-gross – Schuttstrom nass	8 Mio (S5)	750'000 m ³	0.05	Run243, mü 0.05, 750'000	Run 105: Volumen = 500'000m ³ , Mü = 0.06, Stand 2021
F3-klein – Volumenstrom	3 Mio (S3)	250'000 m ³	0.02	Batch_3/Run23_300Vol_0.02_2021Bloc k, mü 0.02, 300'000	Run 13: Volumen 300'000 m ³ , Mü = 0.02, Stand 2021
F3-gross - Volumenstrom	8 Mio (S5)	750'000 m ³	0.02	Batch_2/Run15_750_02_2021Block, mü 0.02, 750'000	Run 106: Volumen 750'000 m ³ , Mü = 0.02, Stand 2021

Szenario

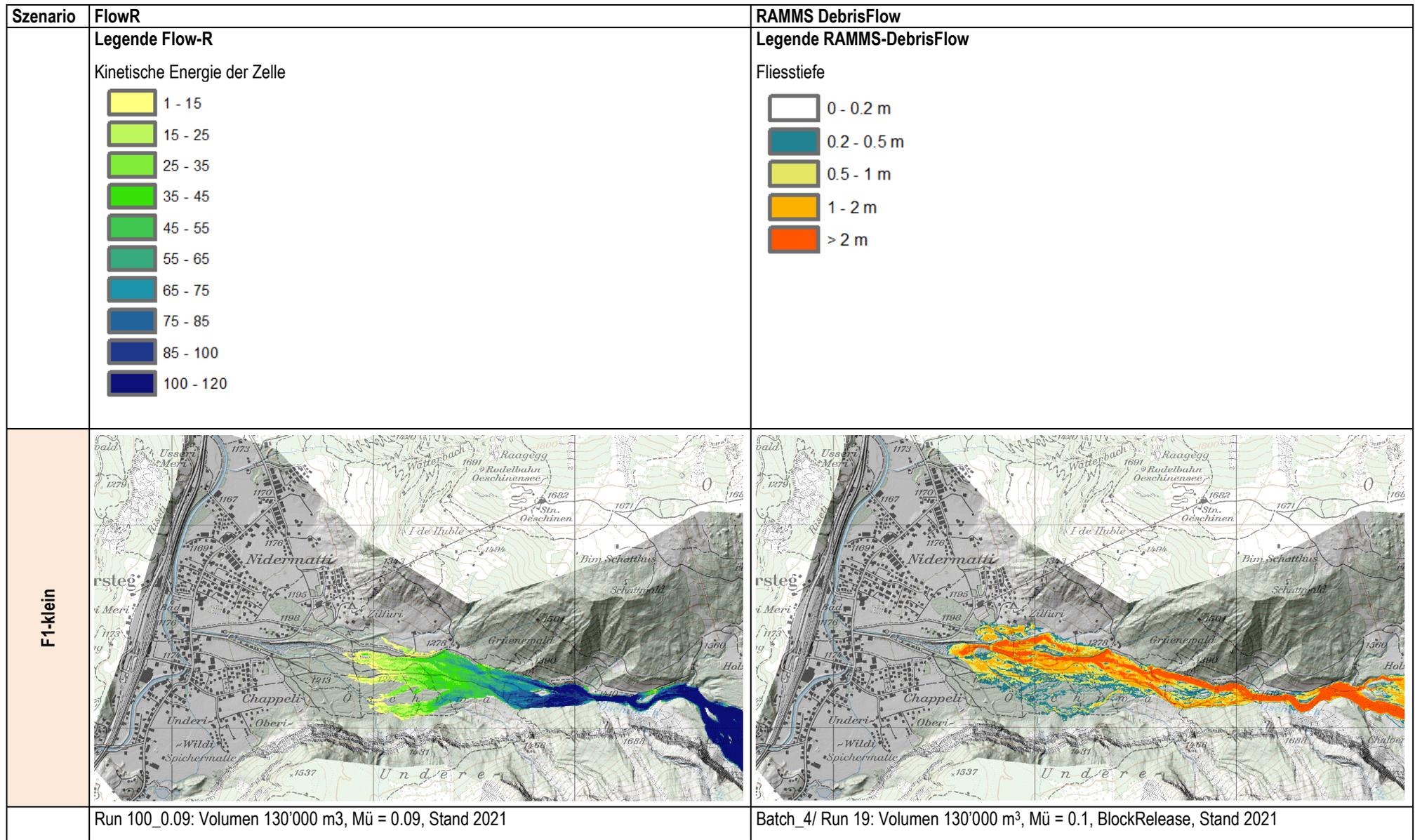
Basement – Flutwelle A1 und A3

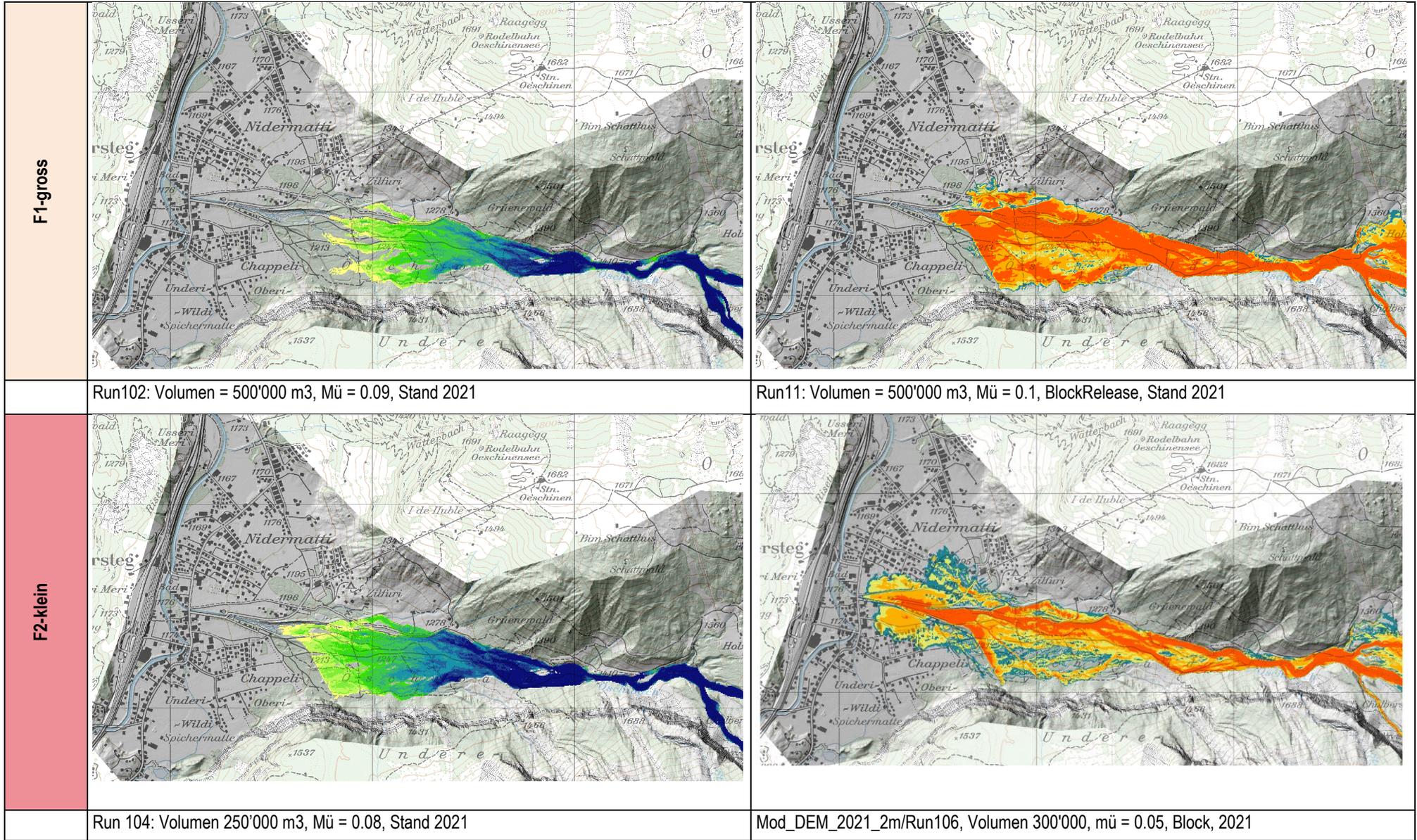


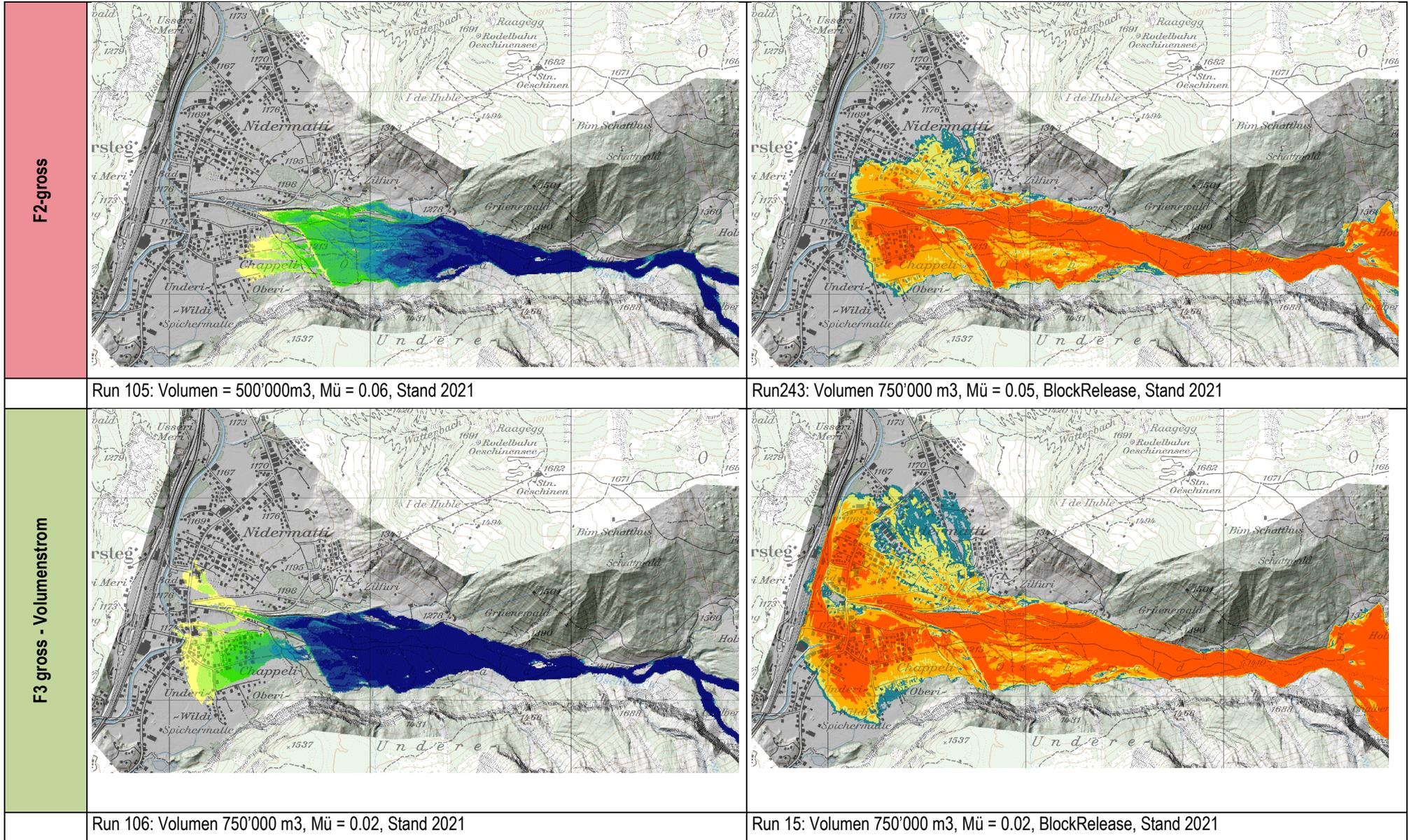
Legenden:

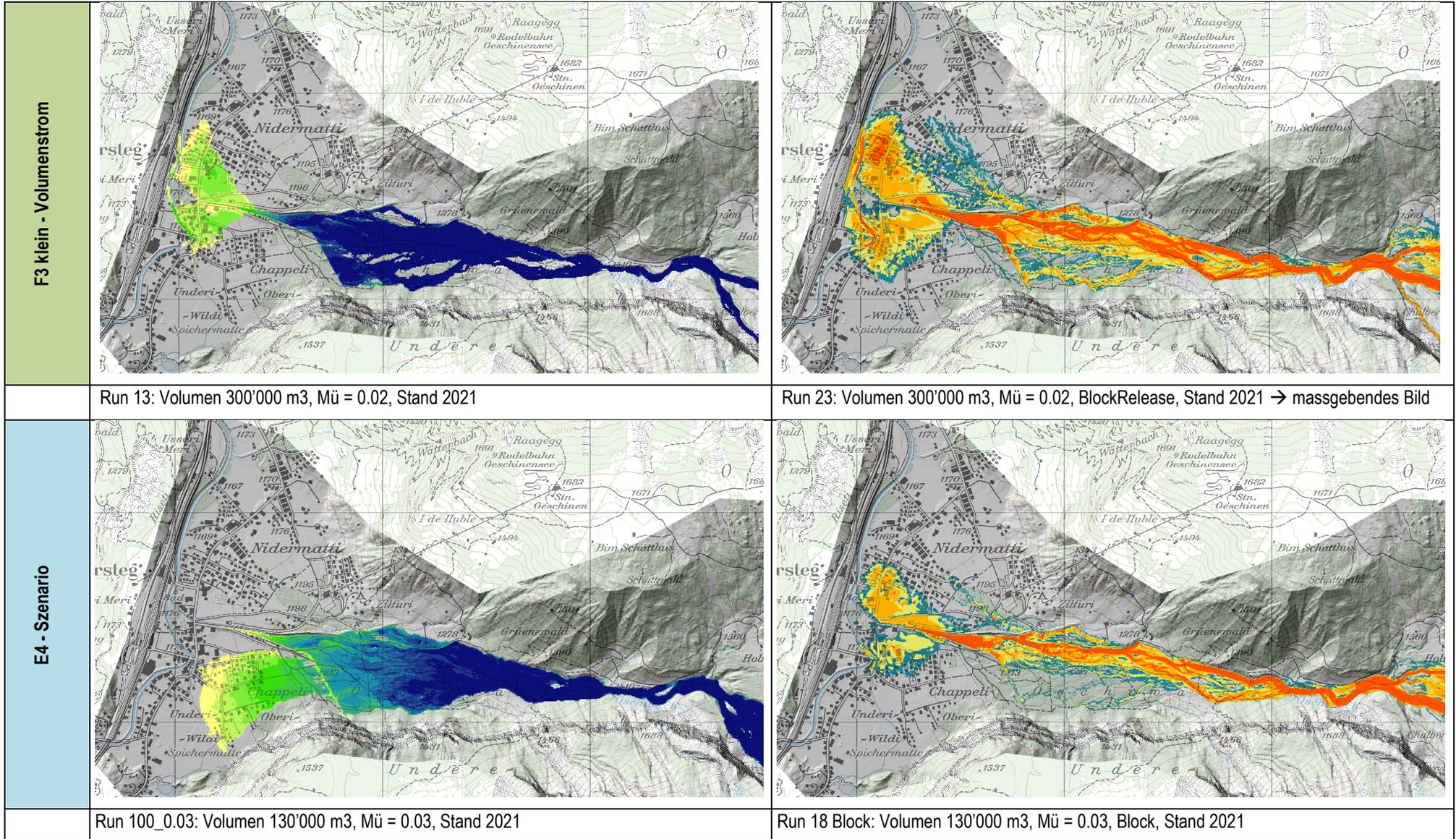
-  Flutwelle A1 (Abflussspitze 1300 m³/s), Fliesstiefe > 1 m
-  Flutwelle A3 (Abflussspitze 4500 m³/s), Fliesstiefe > 1 m

Die Modellierungen erfolgten im Rahmen einer Arbeit am Geogr. Institut der Universität Bern (Leitung von Prof. Dr. A. Zischg). Simuliert wurden die Flutwellen-Szenarien A1 und A3.



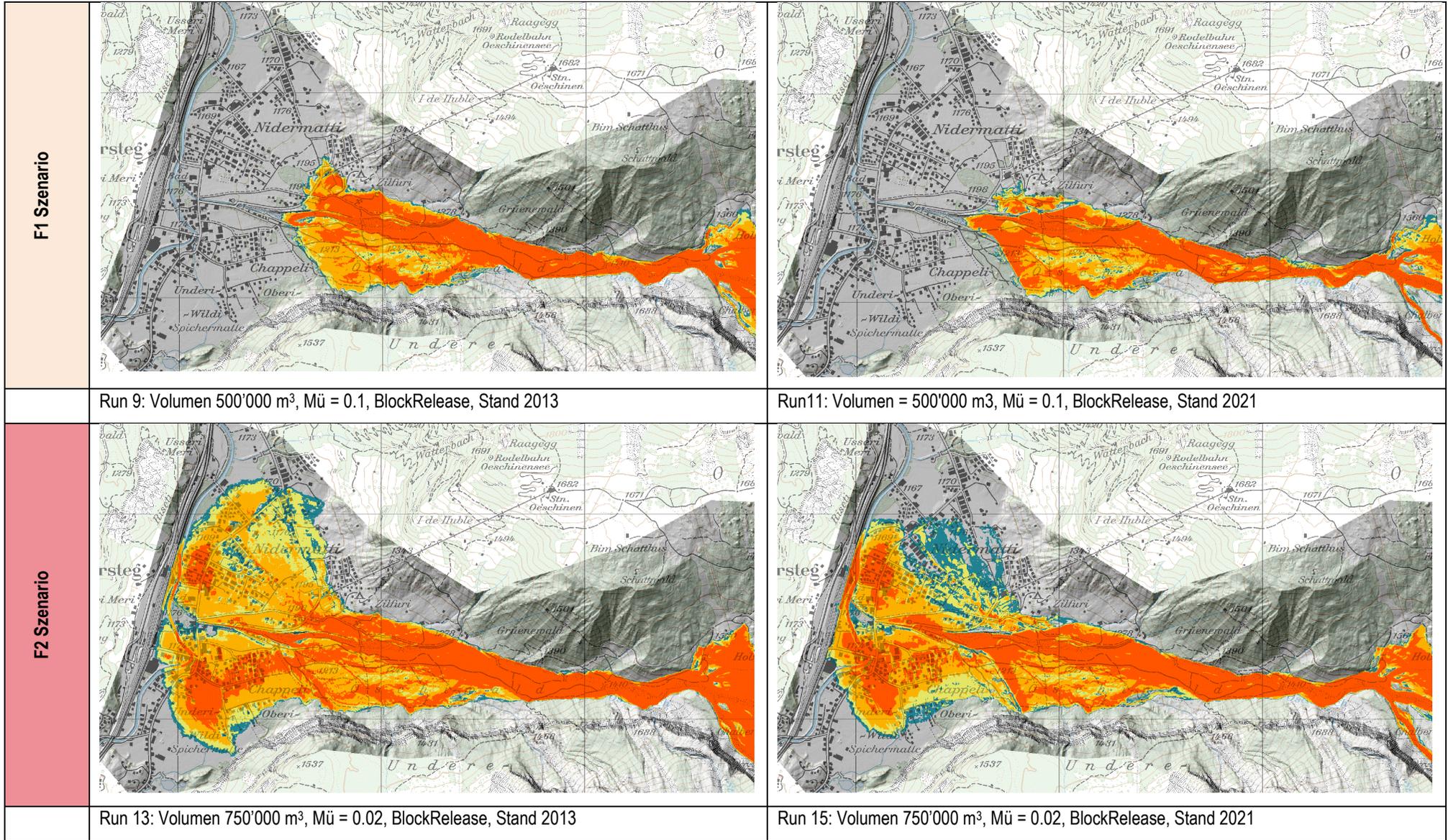


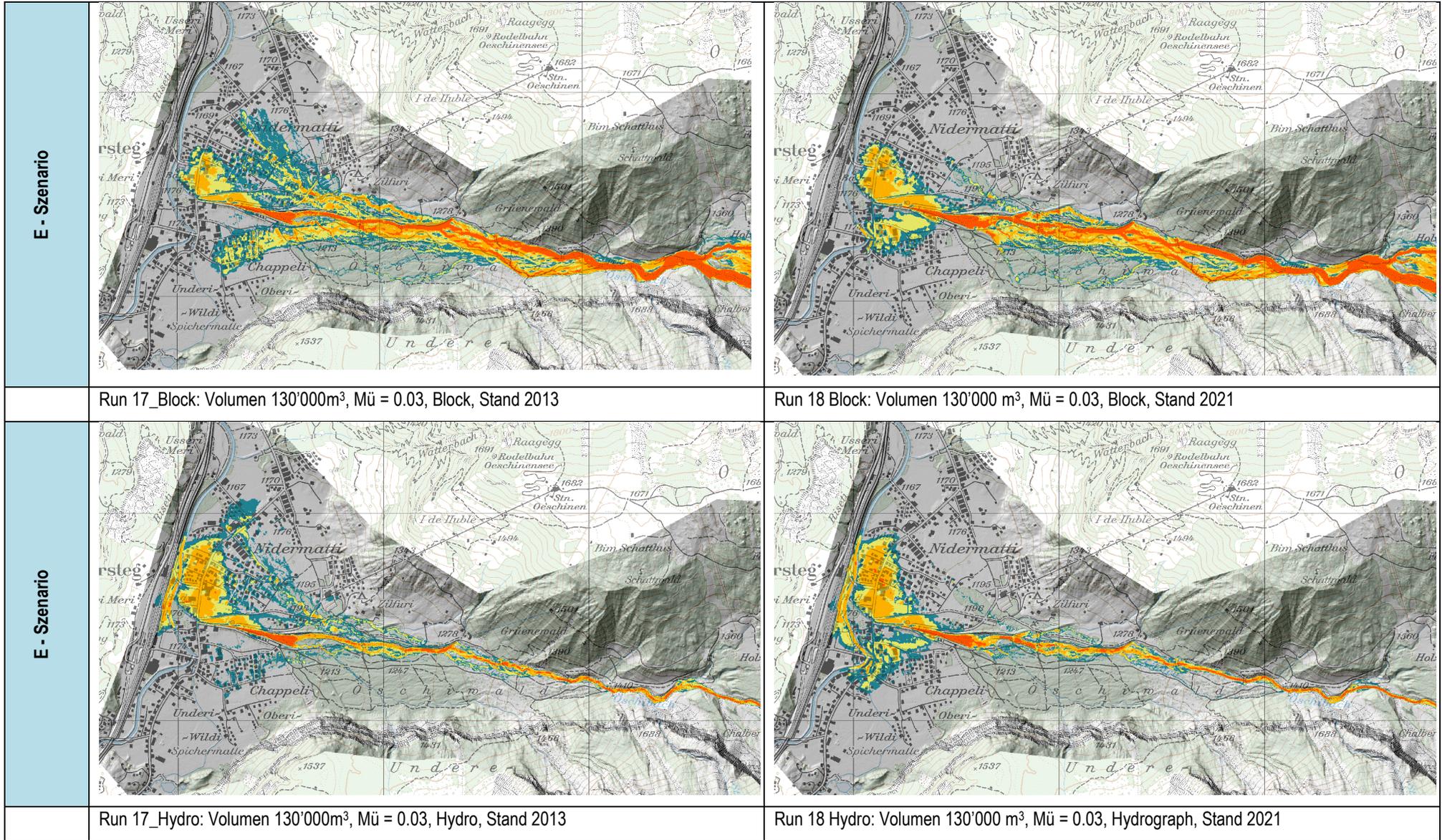


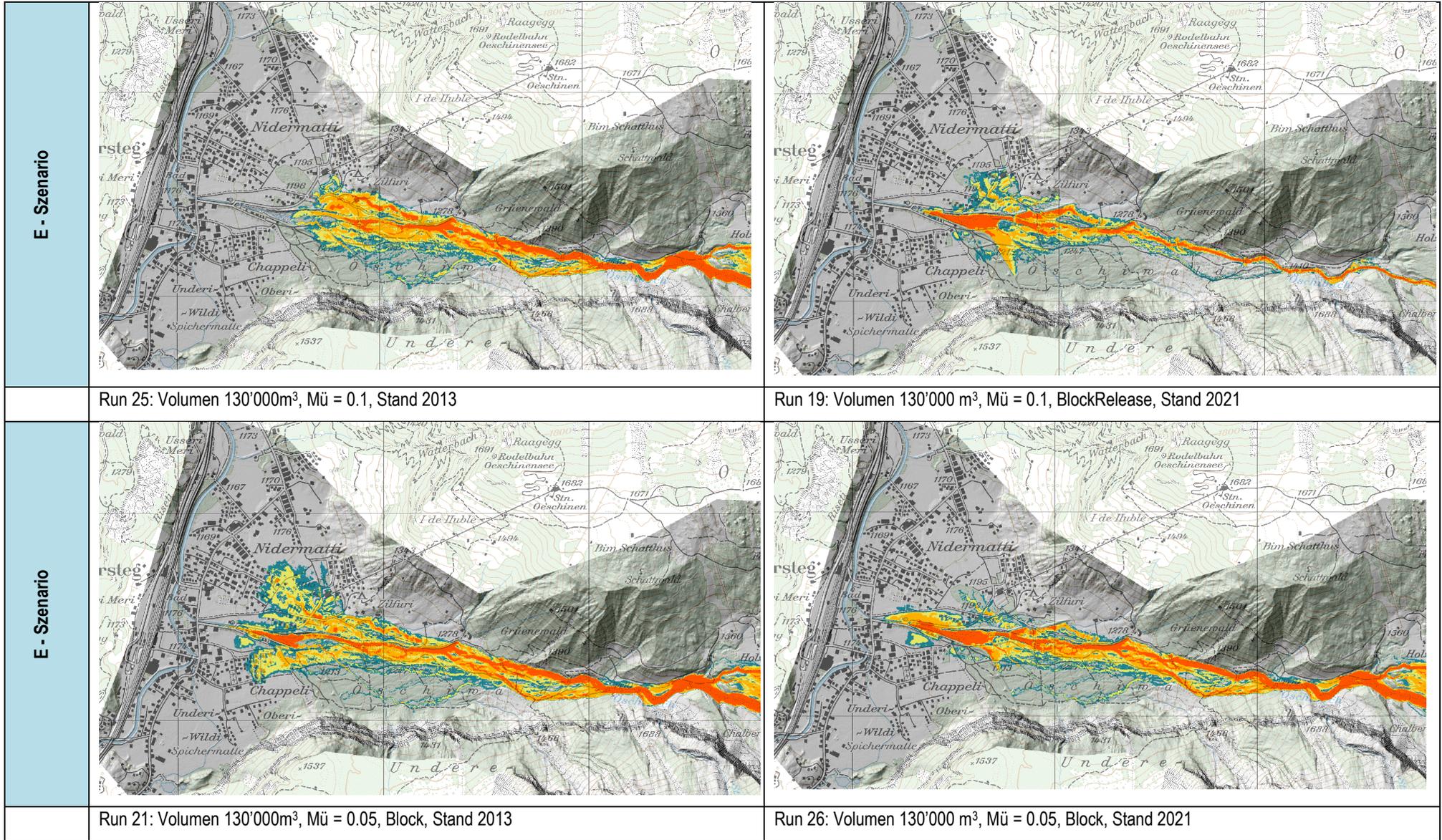


Beispiele einiger Vergleichsmodellierung – mit und ohne Dämme Oeschiwald und Zilfuri

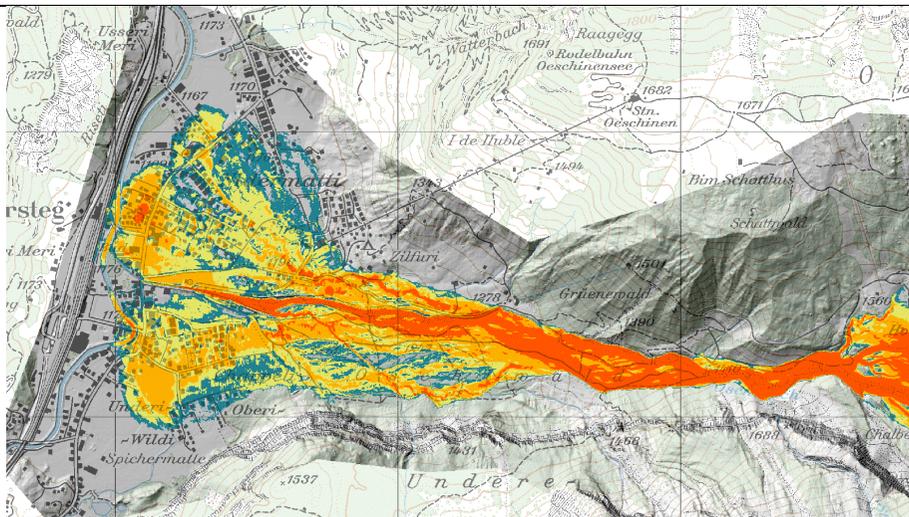
	Ohne Massnahmen, Stand 2013	Mit Massnahmen, Stand 28. Juni 2021
F1 Szenario		
	Run 1: Volumen 300'000 m ³ , Mü = 0.1, BlockRelease, Stand 2013	Batch_4/ Run 19: Volumen 130'000 m ³ , Mü = 0.1, BlockRelease, Stand 2021
F1 Szenario		
	Run 5: Volumen 500'000 m ³ , Mü = 0.05, BlockRelease, Stand 2013	Run 7: Volumen 500'000 m ³ , Mü = 0.05, BlockRelease, Stand 2021



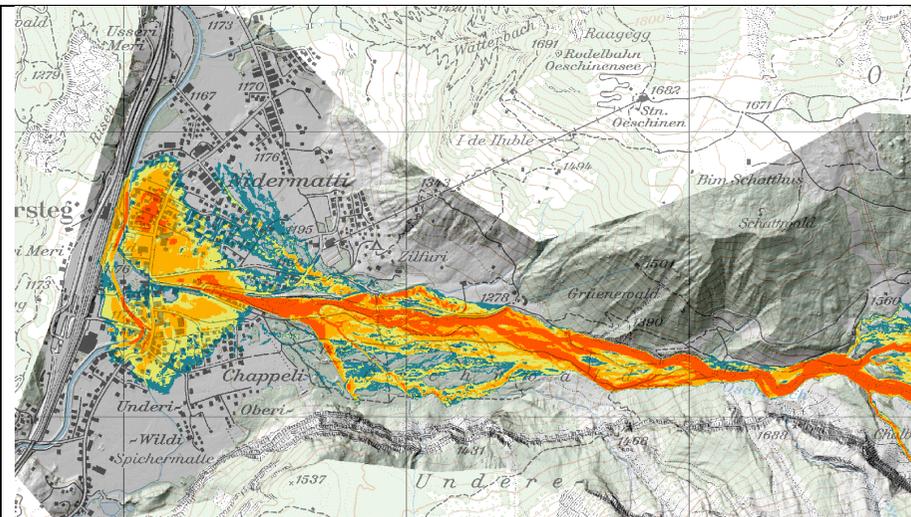




F3 - Volumenstrom



Run 27: Volumen 300'000 m³, Mü = 0.02, BlockRelease, Stand 2013



Run 23: Volumen 300'000 m³, Mü = 0.02, BlockRelease, Stand 2021