
Bericht Nr. 14181391.27

Einwohnergemeinde Kandersteg

**Kandersteg, Oeschibach
Dispositionsmodell Murgang**

Ereignis- und Dispositionsanalyse 2021

Zollikofen, 22. Februar 2022

GEOTEST AG
BERNSTRASSE 165
CH-3052 ZOLLIKOFEN
T +41 (0)31 910 01 01
F +41 (0)31 910 01 00
zollikofen@geotest.ch
www.geotest.ch

Autor(en)	Bearbeitete Themen / Fachbereiche
Isabelle Kull	Analyse Murgangauslösung 2021, Dispositionsanalyse, Gesamtbericht
Christian Kienholz	Datenbereitstellung, Kartografie
Supervision	Visierte Inhalte
Daniel Tobler	Gesamtbericht
Hinweise	

GEOTEST AG


Daniel Tobler


Isabelle Kull

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Projekt / Zielsetzung.....	4
3.	Ausgeführte Arbeiten	4
4.	Datengrundlagen.....	5
5.	Ereignisse 2021	6
5.1	Sturzaktivität 2021.....	6
5.2	Murgangereignisse 2021	8
6.	Dispositionsanalyse 2021	9
6.1	Schnee-, Lawinen- und Ausaperungsverhältnisse	10
6.2	Temperaturverhältnisse	13
6.3	Niederschlagsverhältnisse	13
6.4	Geschiebeverfügbarkeit	14
6.5	Anpassung Dispositionsparameter	15
7.	Murgangdisposition 2021	17
8.	Fazit	19
9.	Schlussbemerkung und Ausblick	20
10.	Quellen.....	21

Anhang	Nr.
Witterungsdaten	1
Murgangdisposition Spitze Stei / Oeschibach 1918 - 2021	2

1. Einleitung

Während der letzten Jahre wurden am Spitze Stei zunehmende Rutsch- und Sackungsbewegungen beobachtet. Infolge des gestiegenen Geschiebeeintrages nahm in den unterliegenden Chalberspissibächen sowie dem Oeschibach die Murgangaktivität zu. Die Murgänge führten zu Verklausungen von Brücken, zu Auflandungen und lokalen Ausuferungen, aber teilweise auch zu Böschungserosion.

Anhand der Analyse verschiedener Murgang-auslösender Parameter wurde im Jahr 2020 erstmals ein Dispositionsmodell für Murgänge im Oeschibach erarbeitet [1]. Das Dispositionsmodell wird im vorliegenden Bericht mit den Erkenntnissen und Beobachtungen der murgangreichen Saison 2021 ergänzt.

2. Projekt / Zielsetzung

Die Ziele der vorliegenden Arbeit sind:

- Analyse der Witterungsverhältnisse vor und während der Murgänge 2021 und Vergleich mit den Vorjahren
- Prüfung / Ergänzung bisheriger Kriterien und Schwellenwerte zur Murgangauslösung
- Anpassung des Dispositionsmodelles

3. Ausgeführte Arbeiten

Der Zielsetzung entsprechend wurden folgende Arbeitsschritte vorgenommen:

- Auswertung lokaler Niederschlags- und Temperaturdaten
- Analyse der Geschiebe- und Witterungsverhältnisse im Einzugsgebiet
- Auswertung der Dispositionsparameter
- Anpassung / Ergänzung des Dispositionsmodelles
- Prüfung der semi-quantitativen Gewichtung der Schuttverfügbarkeit

4. Datengrundlagen

Seit 2020 wird der Oeschibach mit mehreren automatischen Kameras überwacht (Abb. 1, Tabelle 1). Die Kameras dienen der Beurteilung der Geschiebeverhältnisse im Einzugsgebiet sowie der Bestimmung von Häufigkeit, Zeitpunkt, Grösse, Reichweite und Viskosität der Murgänge. Niederschlags- und Temperaturmessungen an den Meteostationen Staubbach und Doldestock zeichnen die Witterungsverhältnisse auf. Zusammen mit weiteren, öffentlich verfügbaren Meteorodaten (Öschinensee, Kandersteg, Fisistock, Abb. 1) wurden diese Daten zur Bestimmung der Auslösekriterien für Murgänge sowie für die Prognose im Gefahrenmanagement herangezogen.

Die Rutschung Spitze Stei wurde weiterhin mit GPS, Reflektoren sowie Kameras überwacht. Regelmässige Drohnenbefliegungen lieferten zudem detaillierte Orthophotos und Höhenmodelle. Im Rutschgebiet wurden die Daten für die Quantifizierung der Rutschaktivität sowie die Abschätzung von Sturz- und Rutschkubaturen herangezogen [2]. Im Chalberspissibach und Oeschibach konnte mit den Drohnen-
daten die Geschiebebilanz bestimmt werden [3].

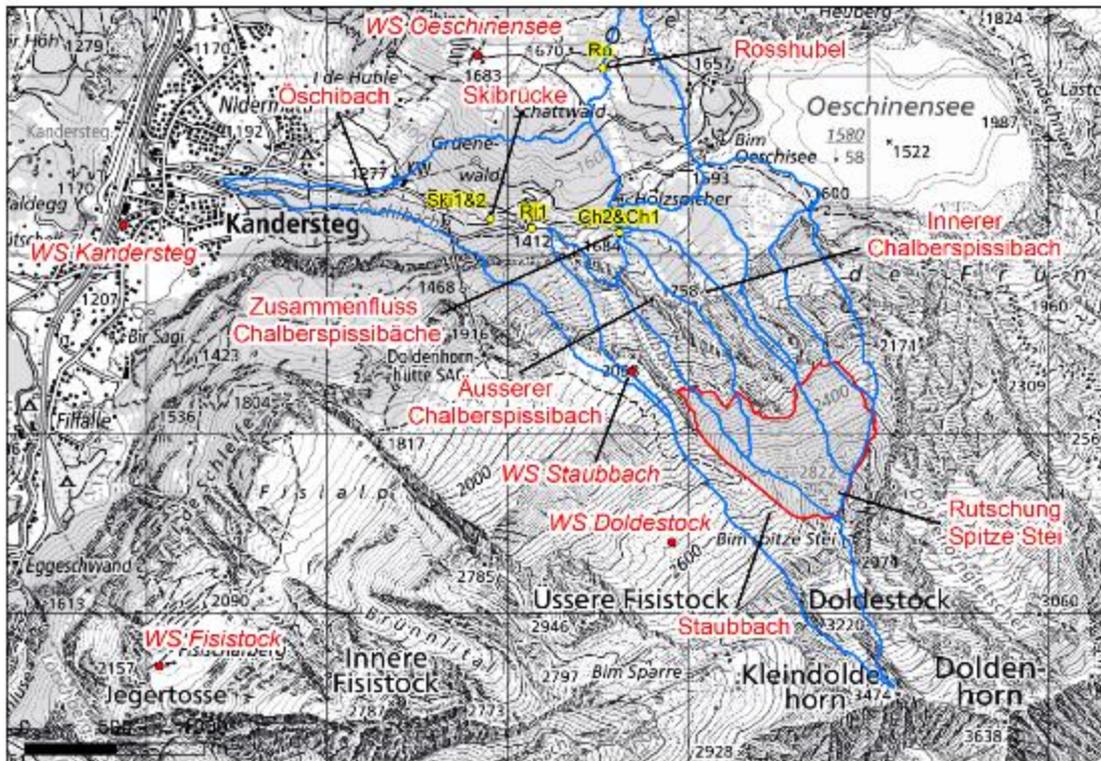


Abb. 1: Lokalnamen und Standorte der Messgeräte im Gebiet Spitze Stei: Messstationen (rote Punkte) und automatische Kameras (gelbe Punkte, Abkürzungen siehe Tab.1). Die hydrologischen Teileinzugsgebiete im Gebiet Spitze Stei sind blau umrandet.

Tabelle 1: Übersichtstabelle Messgeräte.

Stationsname		Daten	Meereshöhe	Betreiber
Staubbach, Spitze Stei		Regenmesser	2100 m ü. M.	GEOTEST
Oeschinensee		Regenmesser	1680 m ü. M.	MeteoMedia
Doldenstock		Regen- / Temperaturmesser	2560 m ü. M.	Amt für Wald und Naturgefahren Kt. Bern
Fisistock		Regenmesser	2160 m ü. M.	Gemeinde Kandersteg und Amt für Wald und Naturgefahren Kt. Bern
Kandersteg		Regenmesser	1170 m ü. M.	MeteoMedia
Adelboden		Regenmesser	1321 m ü. M.	MeteoSchweiz
Rosshubel	Ro	Automatische Kamera	1680 m ü. M.	GEOPRAEVENT
Chalberspissibach (aufwärts)	Ch1	Automatische Kamera 4	1530 m ü. M.	GEOTEST
Chalberspissibach (abwärts)	Ch2	Automatische Kamera 3	1530 m ü. M.	GEOTEST
Rinderstutzbrücke (aufwärts)	Ri	Automatische Kamera 1	1410 m ü. M.	GEOTEST
Skibrücke (aufwärts)	Ski1	Automatische Kamera 2	1370 m ü. M.	GEOTEST
Skibrücke (abwärts)	Ski2	Automatische Kamera 5	1370 m ü. M.	GEOTEST

5. Ereignisse 2021

5.1 Sturzaktivität 2021

Die über die letzten Jahre zugenommene Murgangaktivität des Oeschibaches steht in direktem Zusammenhang mit der zunehmenden Aktivität der Rutschung Spitze Stei [1]. Eine Überlagerung tiefgründiger und oberflächlicher Rutschbewegungen führt dazu, dass grosse Schuttkubaturen an die Absturzkante im unteren Bereich des Rutschperimeters geschoben werden. Von dort wird der Schutt durch periodische Abstürze in die Chalberspissbäche ausgetragen. Felsabbrüche aus

dem Gipfelbereich der Rutschung Spitze Stei führen i.d.R. nicht zu grösseren, direkten Austrägen in die Chalberspissibäche. Bei den bisher beobachteten Sturzkubaturen (maximal einige 1'000 bis 15'000 m³) wird stattdessen ein Grossteil des Sturzmaterials innerhalb des Rutschperimeters zwischengelagert.

Die wichtigsten Sturz- bzw. Rutschereignisse der Saison 2021 sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Während die Anzahl der Sturzereignisse im Vergleich zu den Vorjahren zunahm, waren die Ereigniskubaturen kleiner. Dies gilt sowohl für Felsabbrüche aus dem Gipfelbereich als auch Rutsch- bzw. Sturzereignisse aus dem Frontbereich der Rutschung. Insbesondere der Schutteintrag in den Inneren Chalberspissibach war 2021 eher gering [3].

Tabelle 2: Übersicht Felsabbrüche und Rutschungen aus dem Bereich Spitze Stei, Jahr 2021.

Datum	Prozess	Ausbruchgebiet	Reichweite Geschiebeablagerungen			Sturzkubatur (remobilisierbar)
			Oberlauf	Chalberspissibach	Oeschibach	
9. Juni	Felsabbruch	Ostgrat	x	x		wenige 1'000 m ³
7.-8. Juli	Abbruch Schuttmaterial	Zentrum / Westflanke	x	x	x	wenige 1'000 m ³
23. Aug.	Felsabbruch	Ostflanke	x			ca. 3'000 m ³
26.-27. Aug.	Abbruch Schuttmaterial	Zentrum	x			wenige 1'000 m ³
2. Sept.	Sturz Grossblock	Zentrum	x			ca. 1'600 m ³
23.-24. Sept.	Abbruch Schuttmaterial	Westflanke	x	x		10'000-15'000 m ³

5.2 Murgangereignisse 2021

Bis 2019 kam es im Oeschibach zu einem grösseren Murgang pro Sommer. Im Jahr 2020 wurden zwei grosse Murgänge beobachtet (Kubatur je 20'000 m³ [1]). Im Jahr 2021 war die Murgangaktivität deutlich erhöht, die Kubaturen der einzelnen Murgänge jedoch geringer als im Vorjahr (Tabelle 3). Die Murgangaktivität begann wie bereits im Vorjahr in der zweiten Junihälfte; die letzten Murgänge fanden Ende September 2021 statt.

Tabelle 3: Übersicht Murgangereignisse 2021.

Datum 2021	Murgang-Charakter / Viskosität	Reichweite / Mächtigkeit Murgangablagerungen				Murgang- Kubatur
		Einmünd. Oeschi- bach	Rinderstutz- brücke	Skibrücke	Zilfuri / Tirolerwehr	
22. Juni	granular, später dünnflüssig durch Einfluss Lawinenschnee, Murgänge aus Inn. Chalberspissibach	x	x	4 m	2 m	~ 15'000 m ³
24. Juni	dünnflüssig	x	x (Ausbruch)			wenige 1'000 m ³
29. Juni	vermutl. eher granular	x	x	mehrere m		wenige 1'000 m ³
30. Juni	vermutl. eher granular	x	x	mehrere m		5'000 - 7'000 m ³
7.-8. Juli	granular / breiartig / dünnflüssig	x	x	mehrere m		~ 5'000 m ³
25. Sept.	2 kleine Murgänge ohne Niederschlag	x				~ 5'000 m ³
26. Sept.	1 breiartiger Murgang nach geringem Niederschlag	x				~ 5'000 m ³

Während der Murgang-Saison 2021 konnten folgende Beobachtungen gemacht werden:

- Frisches Geschiebe wird in den Chalberspissibächen nicht langfristig abgelagert, sondern i.d.R. zeitnah ausgetragen.
- Die grössten Murgangkubaturen wurden während der ersten Ereignisse vom 22. Juni mobilisiert.

- Die starken Schmelzwassereinträge in die Sturzablagerungen während der mehrtägigen Wärmeperiode Mitte Juni begünstigten die fröhsommerliche Murgangauslösung.
- Mächtige Lawinenablagerungen in den Bachkegeln förderten die fröhsommerlichen Murgänge ebenfalls. So gab es vermutlich schwallartige Durchbrüche infolge Wasser- und Geschieberückstau hinter Lawinenschneeablagerungen. Erosion und Schmelze von Lawinenschnee führte zu zusätzlichen Wassereinträgen und damit Verflüssigung von Murgängen.
- Die Niederschlagsintensität war an Tagen mit grossen Murgangkubaturen nicht ausgesprochen hoch.
- Im September fanden erstmals zwei Murgangereignisse ohne vorangehende Niederschlagsereignisse statt.

6. Dispositionsanalyse 2021

Im Rahmen der Dispositionsanalyse wurden auch 2021 die Witterungsbedingungen und Geschiebeverhältnisse vor und während der Murgangereignisse analysiert und mit den ereignisauslösenden Parametern und Schwellenwerten der Vorjahre verglichen.

Bei den letztjährigen Analysen wurden die in Tabelle 4 aufgeführten Schwellenwerte definiert. Sofern einer der drei Niederschlagsschwellenwerte (Vorfeuchte, Stundenniederschlag, Niederschlagsintensität) sowie alle anderen Faktoren (Wärmeeintrag, Temperatur, Sturzablagerungen) erfüllt sind, wird das Auftreten eines Murganges als wahrscheinlich beurteilt.

Tabelle 4: Bisherige Schwellenwerte für eine Murgangauslösung im Oeschibach [1].

Ausaperung / Fröhsommerlicher Wärmeeintrag in Boden (positive Gradtage ab 1.6., Station Fisistock)	Vorfeuchte (14-Tages- Niederschlags- summe)	Stunden- Niederschlag	Niederschlags- Intensität	Lufttemperatur (kein Schneefall im Einzugsgebiet) Station Fisistock	Sturzkubatur
≥ 44 Tage	≥ 30 mm	≥ 3.8 mm/h	≥ 1.4 mm/10 Min.	≥ -2.5 °C	wenige 1'000 m ³

Die im Jahr 2021 gemachten Beobachtungen bezüglich der verschiedenen Murgang-auslösenden Parameter werden nachfolgend beschrieben.

6.1 Schnee-, Lawinen- und Ausaperungsverhältnisse

Bzgl. Schnee- bzw. Ausaperung wurden folgende Beobachtungen gemacht:

- Die **Schneehöhen** waren im Frühling 2021 deutlich höher als im Frühling 2020, jedoch ähnlich hoch wie im schneereichen Jahr 2019 (Abb. 2).
- Die **Ausaperung** fand hauptsächlich während der Wärmeperiode in der ersten Junihälfte statt (vgl. Abb. 3). Die Ausaperung fand somit im Vergleich zum Vorjahr 2020 relativ spät und fast zeitgleich wie im schneereichen Jahr 2019 statt (Abb. 2).
- Während der Phase der Hauptausaperung fanden **erste kleinere Sturzergebnisse** statt (9. Juni).
- Gegen Ende der Ausaperungsperiode fanden erste grosse Murgänge bei bisher unkritischer Murgangdisposition statt (22. Juni). Bei der **Murgang-Entstehung und -verstärkung** spielte nebst bereitliegendem frischem Schutt auch der **Schnee** eine wesentliche Rolle.
- Die Murgänge vom 22. Juni wurden während der mehrtägigen Wärmeperiode von Mitte Juni durch **intensive Schneeschmelze** in Kombination mit leichtem Niederschlag ausgelöst. Der starke Schmelzwasserabfluss und die Durchfeuchtung von Lockermaterial mobilisierte u.a. Geschiebe, das durch die Rutschbewegungen an die Absturzkante geschoben wurde (Abb. 4).
- Insbesondere bei den ersten Murgängen im Juni dürfte es in den mächtigen **Lawinenschneeablagerungen** am Felswandfuss (Abb. 5) zu einem **Wasser- und Geschieberückstau** mit anschliessendem Durchbruch gekommen sein. Dadurch wurde Grösse und Intensität der Murschübe vermutlich verstärkt und die Viskosität zeitweise stark verändert. Dies erklärt den Wechsel zwischen granularen und dünnflüssigen Murschüben (Tabelle 3), welcher insbesondere während des Ereignisses vom 22.6.2021 beobachtet werden konnte.

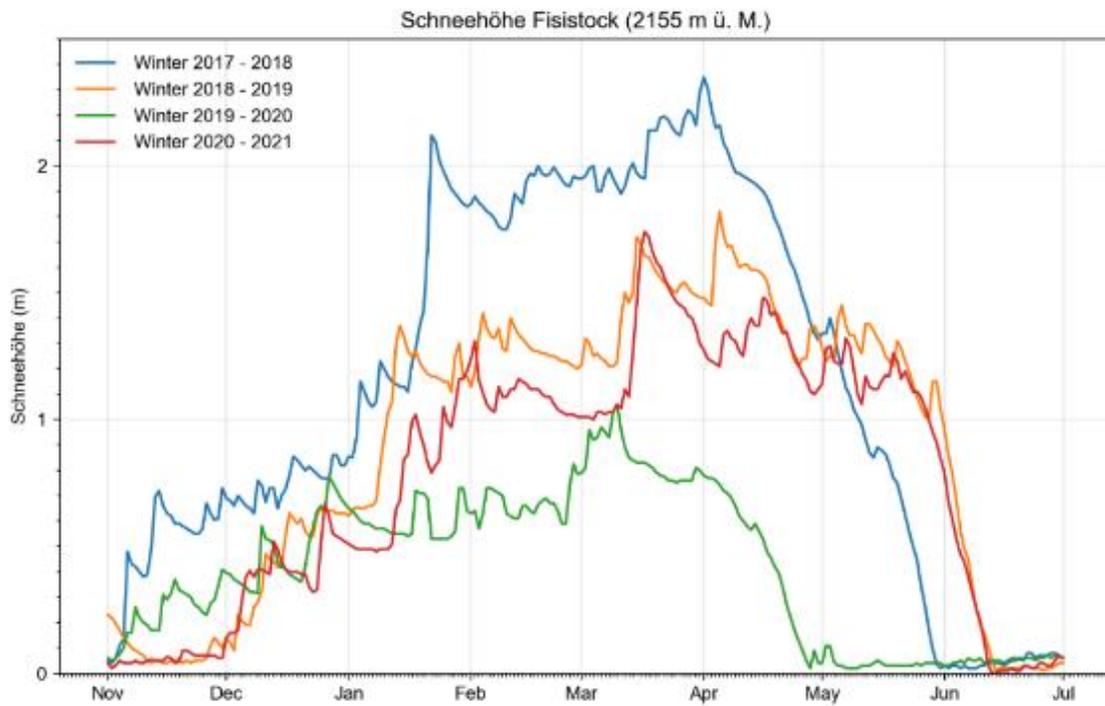


Abb. 2: Gemessene Schneehöhen der Station Fisistock: Der Frühling 2021 (rot) war ähnlich schneereich und die Ausaperung vergleichbar spät wie 2019 (orange).



Abb. 3: Das Gebiet Spitze Stei aperte 2021 im Verlauf der ersten Juniwoche stark aus.

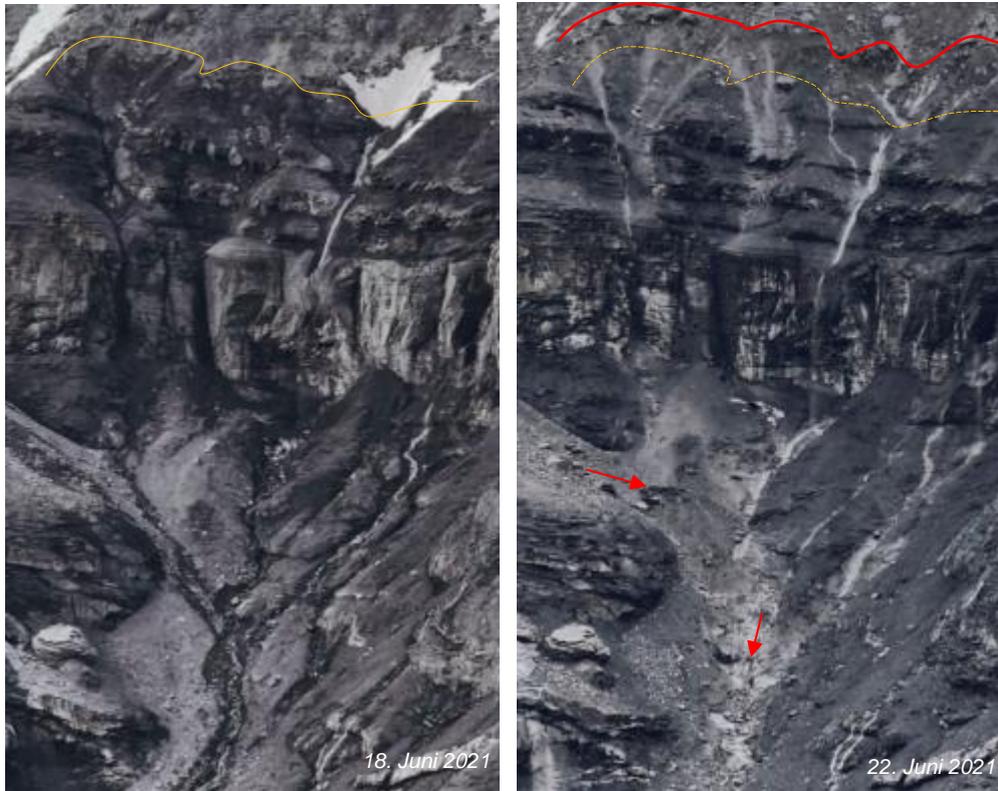


Abb. 4: Gerinnebereich des Inneren Chalberspissibaches direkt unterhalb des Zentrumsbereiches der Rutschung Spitze Stei. Geschiebe wurde u.a. aus der Front der Rutschung mobilisiert (links: Abrisskante in gelb). Nach dem Ereignis lag die Abrisskante deutlich weiter oben (rechts: rote Linie). In der unterhalb liegenden Runse kam es zu rückschreitender Erosion (rote Pfeile).



Abb. 5: Schuttbedeckter Lawinenschnee am Felswandfuss beim Inneren Chalberspissibach – vor den Murgängen vom 22. Juni (links), mit Erosionen des Lawinenschnees nach dem ersten Murgang (Mitte) und nach dem zweiten Murgang (rechts).

6.2 Temperaturverhältnisse

Wir gehen davon aus, dass eine fortgeschrittene Ausaperung im Einzugsgebiet erforderlich ist, um Murgänge auszulösen (frühsommerliches Temperaturkriterium, Spalte A1, vgl. Anhang 2). 2021 wurde das **frühsommerliche Temperaturkriterium** am 11. Juni erreicht. Die ersten Murgänge haben (ähnlich wie im Vorjahr) aufgrund der zuvor fehlenden Niederschläge erst am 22. Juni stattgefunden.

6.3 Niederschlagsverhältnisse

Im Sommer 2021 waren die Stationen Doldestock und Staubbach infolge Lawinenschäden teilweise noch ausser Betrieb. Die Niederschlagsanalyse 2021 wurde daher basierend auf den Daten der Messstationen Kandersteg und Öschinensee vorgenommen. Zur Bestimmung der Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet wurde zusätzlich der Niederschlagsradar von MeteoSchweiz beigezogen. Die Übersicht der Niederschlagsverhältnisse an Murgangtagen ist in Anhang 1 dargestellt.

Folgende Niederschlagsbedingungen waren im Jahr 2021 für die Bildung von Murgängen relevant:

- Die erste Sommerhälfte 2021 war ausgesprochen nass und zeitweise von einer **grossen Vorfeuchte** und **intensiven Starkniederschlägen** geprägt. Die Niederschlagsverhältnisse waren im Gebiet Spitze Stei ähnlich nass wie 2019. Die Niederschläge von 2021 haben in der ersten Sommerhälfte zu einer **erhöhten Murgangaktivität** geführt, während der ebenfalls nasse Frühsommer 2019 bezüglich Murgänge ruhig blieb. Dies verdeutlicht, welch grossen Stellenwert die erhöhte Schuttverfügbarkeit bzw. Sturzaktivität im Einzugsgebiet für die Auslösung von Murgängen nebst der Niederschläge hat.
- Am Tag mit den intensivsten Niederschlägen (18. Juni) fand trotz hoher Murgangdisposition mit grosser Schuttverfügbarkeit, hoher Vorfeuchte, Starkniederschläge und Lawinenschnee im Chalberspissibach kein Murgangereignis statt. Dies untermauert die letztjährige Beobachtung, dass die Vorfeuchte im felsigen Einzugsgebiet für die Murgangauslösung eine untergeordnete Rolle spielt (vgl. Anhang 1). Im Weiteren haben kurz vor dem Non-Event nur Felsabbrüche im obersten Bereich, jedoch keine Abbrüche aus Schuttablagerungen in Runsennähe stattgefunden.
- Das erste Murgangereignis (22. Juni 2021) wurde bei relativ geringen Niederschlagsintensitäten in frischen Lockermaterialablagerungen im Oberlauf des Inneren Chalberspissibachs ausgelöst. Wie bereits in Kapitel 6.1 be-

schrieben, hat vermutlich die Kombination von **Schmelz- und Regenwasser** zu einer **Übersättigung des Lockermaterials** in den felsigen Runsen geführt.

- Am 25. September haben erstmals **Murgänge ohne Niederschlagsereignisse** stattgefunden. Am Vortag ereignete sich im Einzugsgebiet eine grössere Schuttrutschung, die in einer steilen, wasserführenden Runse abgelagert wurde (Abb. 6). Daraus entwickelten sich in den zwei Folgetagen Murgänge (25.-26. Sept.).

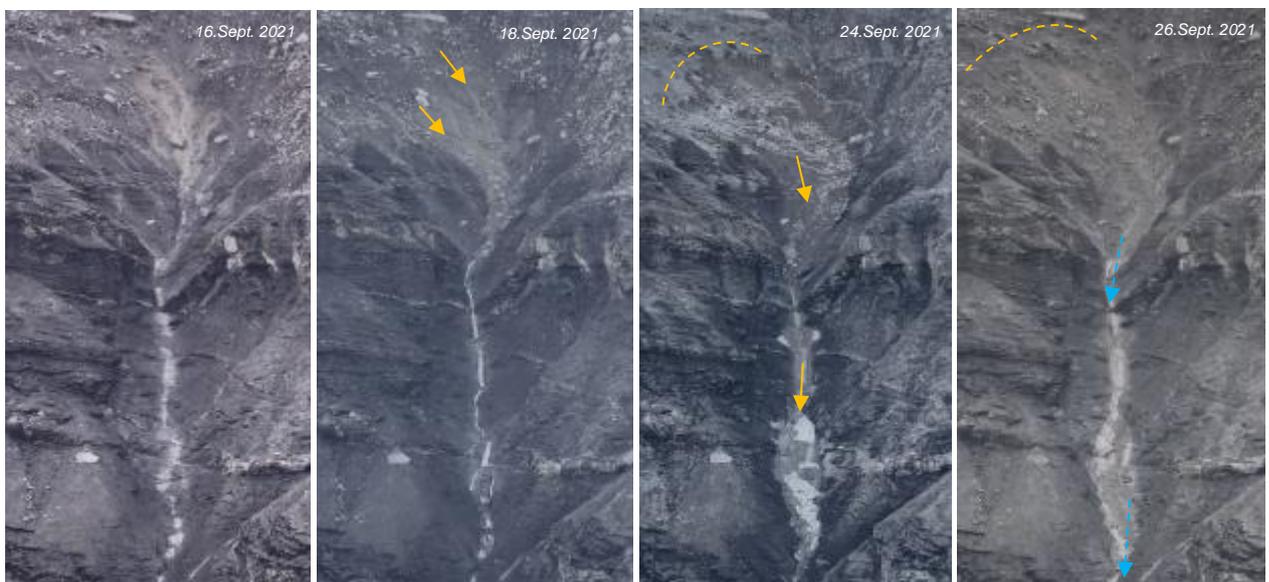


Abb. 6: Schuttrutschung (gelbe Pfeile) in steile, wasserführende Runse führte am 25.9. (ohne Niederschlag) und am 26.9. (mit Niederschlag) zu einer Remobilisierung mit Murgang (blaue Pfeile).

6.4 Geschiebeverfügbarkeit

Felsabbrüche und Schuttrutschungen aus dem Gebiet Spitze Stei führten im Sommerhalbjahr 2021 wiederholt zu kleineren Ablagerungen von wenigen tausend Kubikmetern Geschiebe, die im felsigen Oberlauf der Chalberspissibäche liegen geblieben sind. Schuttpakete wurden 2021 an mehreren Stellen immer weiter an die steile Geländekante geschoben, so dass diese bei grösseren Wassereinträgen leichter mobilisierbar waren. Dadurch wurde die vorhandene Geschiebekubatur im Einzugsgebiet zwar nicht massgebend erhöht, es bestand im Jahr 2021 jedoch eine **erleichterte Verfügbarkeit / Mobilisierbarkeit** des Geschiebes für die Bildung von Murgängen. Im Rahmen der Beurteilung des Sekundärprozesses Murgang [10] wurden – in Abhängigkeit von Geschiebekubaturen und Witterungsverhältnisse – mögliche Murgangsszenarien definiert (Tabelle 5). Im Jahr 2021 beweg-

ten sich die Murgangereignisse bezüglich Murgangkubatur ca. im Bereich von Szenario E2. Die erste Hälfte des Sommerhalbjahres 2021 war nass, die zweite Hälfte vorwiegend trocken. Damit entsprach das Murgangjahr bezüglich der Niederschläge einem «normalen» Jahr. Allerdings wurde diese Murgangkubatur aus wesentlich kleineren Sturzkubaturen mobilisiert als die in Szenario E2 angenommenen 200'000 – 1Mio. m³.

Tabelle 5: Die für das Sicherheitskonzept relevanten Murgangsszenarien Oeschibach. Im Jahr 2021 bewegten sich die Murgangereignisse bezüglich Murgangkubatur ca. im Bereich von Szenario E2 (blau).

Szenario	Beschreibung	Ereigniskubatur
E1	Murgänge in «trockenen» Jahren (Hochwasser-arm) (nach Sturzprozessen 200'000 - 1 Mio. m ³)	10'000 m ³ /Jahr
E2	Murgänge in «normalen» Jahren (nach Sturzprozessen 200'000 - 1 Mio. m ³)	40'000 m ³ /Jahr
E3	Murgänge in «nassen» Jahren (Hochwasser-reich) (nach Sturzprozessen 200'000 - 1 Mio. m ³)	100'000 m ³ /Jahr
B	Rückschreitende Erosion, (nach Sturzprozessen ≥ 8 Mio. m ³)	155'000 m ³

Auch 2021 entsprachen die Sturzkubaturen in etwa den Murgangkubaturen. Das Verhältnis Sturzkubatur / Murgangkubatur bleibt folglich bei ca. 1:1. Die diesjährigen Murgänge fanden im Frühsommer vor allem im Inneren Chalberspissibach und im Herbst im Äusseren Chalberspissibach statt. Im Staubbach wurden keine Murgänge beobachtet.

6.5 Anpassung Dispositionsparameter

Das Dispositionsmodell, welches die verschiedenen Murgangparameter und deren bisherigen Schwellenwerte definiert, wurde in [1] definiert und beschrieben.

Die Analyse der Witterungsverhältnisse 2021 hat gezeigt, dass die Entstehung oder Verstärkung von Murgängen im Gebiet Spitze Stei von zusätzlichen Parametern beeinflusst wird, welche im bisherigen Dispositionsmodell nicht enthalten waren. Andere Parameter scheinen bei der Entstehung von Murgängen hingegen eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Die in der Dispositionsanalyse angepassten Parameter sind die Folgenden:

- Murgänge können auch **ohne Niederschläge** ausgelöst werden. (Ergänzung Dispositionsparameter A3, Anhang 2)
- Bei einer **Übersättigung von Lockermaterial** durch intensive Schmelzwassereinträge oder Niederschlag, bei frischen Sturzablagerungen innerhalb von steilen, wasserführenden Runsen oder bei Abbrüchen von Geschiebepaketen über steilen Geländekanten können Murgänge auch ohne Niederschlagsereignis ausgelöst werden (Ergänzung Dispositionsparameter E7, Anhang 2)
- **Wasser- und Geschieberückstau hinter Lawinenschnee** mit anschließendem Durchbruch können Murgangkubatur, Intensität und Reichweite wesentlich vergrößern. Dieser Effekt kann durch Wassereinträge aus geschmolzenem Lawinenschnee zusätzlich verstärkt werden (Ergänzung Dispositionsparameter E6, Anhang 2).
- Der Aspekt der **langanhaltenden Wärmeperiode** wurde 2021 aus dem Dispositionsmodell entfernt, da diesem Aspekt durch die Zunahme der Sturzaktivität (Erhöhung der Geschiebeverfügbarkeit) bei hohen Temperaturen implizit bereits Rechnung getragen wird (Entfernen von Dispositionsparameter D, vgl. [1]).

7. Murgangdisposition 2021

Die Murgangdisposition wurde gemäss der aktualisierten Dispositionsanalyse an 19 Tagen erfüllt, an 8 Tagen haben Ereignisse stattgefunden (vgl. Anhang 2). An allen Ereignistagen waren die Vorbedingungen für eine Murgangauslösung erfüllt. Vereinzelt wurden auch verstärkende Zusatzfaktoren erreicht. Der Erfüllungsgrad der Murgang-auslösenden Faktoren für 2021 ist in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Erfüllungsgrad der Kriterien für eine Murgangauslösung im Oeschibach 2021

Murgangkriterium	Beschreibung	Erfüllung Auslösekriterien 2021
Schuttverfügbarkeit *	Sturzprozesse	erfüllt
	Mobilisierung aus Gerinne	erfüllt
Temperaturkriterium *	positive Tagesmitteltemperatur (44 positive Gradtage auf 2560 m)	erfüllt (ab 11. Juni)
Vorfeuchte *	14-Tagessumme Niederschlag	30-50 mm: erfüllt (an 4 Tagen)
		50-100 mm: erfüllt (an 11 Tagen)
		≥100 mm: erfüllt (an 4 Tagen)
Verstärkende Faktoren	Starkniederschläge 15-30 mm/h (10-Min-Wert)	erfüllt (an 4 Tagen)
	Starkniederschläge 30-50 mm/h (10-Min-Wert)	erfüllt (an 1 Tag)
	Starkniederschläge > 50 mm/h (10-Min-Wert)	keine
	intensiver Dauerregen (ca. 100 mm / Tag)	keinen
	Rain-on-Snow-Event (Regen auf Neuschnee)	keinen
	Lawinenschnee-Einfluss	erfüllt (an 2 Tagen)
	Schuttablagerungen Runsen / Kante, Übersättigung Lockermaterial	erfüllt (an 3 Tagen)

* Vorbedingung für Murgangauslösung

In Tabelle 7 ist der Vergleich zwischen den potenziellen Ereignistagen und den effektiven Murgangereignissen, sowie die Murgangdisposition 2021 im Vergleich zur Disposition der Vorjahre dargestellt.

Tabelle 7: Veränderung der Murgangdisposition im Jahresvergleich 2018 – 2021

Jahr	Sturzer- eignisse (Anzahl)	Schuttver- fügbarkeit (bzw. Sturz- kubatur)	Vorfeuchte (Summe 14-Tages- niederschläge, an Regentagen) Anzahl Tage			Starknieder- schläge ** (Anzahl Tage)		Murgang- Disposition		
			30-50 mm	50-100 mm	> 100 mm	15 - 30 mm/h	> 30 mm/h	Anz. Murgangtage REAL (A)	Anz. Murgangtage POT. (B)	Verhältnis real / potenziell
2018	<i>unklar</i>	20'000 m ³ *	4	22	2	10	9	1	28	0.04
2019	<i>unklar</i>	30'000 m ³ *	0	15	13	13	8	1	27	0.04
2020	3	40'000 m ³	2	11	17	13	2	2	26	0.08
2021	8	30'000 m³	4	11	4	4	1	8	19	0.42

* Schätzung

** nur für Tage mit erfülltem Vorfeuchte-Kriterium

Aus dem Jahresvergleich der Murgangdisposition (Tab. 7) gehen folgende Erkenntnisse hervor:

- Gemäss Murgangdisposition hätten im Jahr 2021 an **19 Tagen potenziell Murgänge** ausgelöst werden können. An 8 Tagen haben tatsächlich Murgänge stattgefunden – also nahezu in der Hälfte der potenziellen Murgang-Tage.
- An ca. 8 Tagen haben sich Sturzprozesse ereignet. **Häufigkeit und Kubatur** der Murgänge scheint in direktem Zusammenhang mit den Sturzereignissen zu stehen.
- Das **Verhältnis** zwischen der Anzahl potenzieller und effektiver Ereignistage war 2021 deutlich grösser als in den Vorjahren.
- Das Resultat (bzw. die geringe Anzahl potenzieller Murgangtage) ist allerdings mit Vorsicht zu interpretieren, da 2021 lediglich die Messdaten der

Messstationen Kandersteg und Öschinensee verwendet werden konnten. Diese Stationen weisen erfahrungsgemäss geringere Niederschlagsintensitäten auf als die Gebirgsstationen.

- 2021 hat die **Anzahl effektiver Murgang-Tage** trotz den jährlich verhältnismässig ähnlich gebliebenen Sturzkubaturen deutlich **zugenommen**. Dies ist einerseits mit der Niederschlagsperiode während den Sturzereignissen zu begründen. Dadurch wurden die **vielen kleinen Sturzablagerungen** unmittelbar nach deren Ausbruch in zahlreichen kleineren Murgängen in den Unterlauf verfrachtet. Andererseits wurde – wie oben beschrieben – 2021 beobachtet, dass die Schutrutschungen zunehmend an steilen Geländekanten oder in **Runsennähe abgelagert wurden**, so dass diese nun leichter als Murgang remobilisiert werden konnten.
- Die Anzahl Murgänge war 2021 relativ gross, trotz der relativ konstant gebliebenen Sturzkubaturen in den letzten Jahren.

8. Fazit

Die Erkenntnisse aus der Murgang-Saison 2021 können wie folgt zusammengefasst werden:

- **Murgänge** können auch **ohne Niederschläge** ausgelöst werden.
- **Murgangauslösung** kann – nebst Niederschlägen – auch erfolgen durch:
a) Remobilisierung von Sturzablagerungen durch Schmelzwasser, wenn die Ablagerungen in Reichweite von steilen, felsigen und wasserführenden Runsen liegen. b) Überströmen von übersättigtem Lockermaterial mit rückschreitender Erosion (vgl. Abb. 4). c) Geschiebe- und Wasserrückstau in (Lawinen)-Schnee mit schubartigen Durchbrüchen.
- Ohne Niederschläge sind die Murgänge eher granular und haben tendenziell eine **geringere Reichweite**.
- Die Beobachtungen von 2021 haben gezeigt, dass die **Schneeverhältnisse** im Einzugsgebiet Oeschibach im schnee- und lawinenreichen Winter für Murgänge eine grössere Rolle spielen, als im Vorjahr vermutet wurde.
- **Wasserrückstau im Lawinenschnee** mit Durchbruch sowie das **Zertrümmern / Aufschmelzen** von Lawinenschnee beim Durchzug von Murgängen können ein grosses Wasservolumen freisetzen. Dies kann die **Prozessintensität verstärken** und zur Bildung von dünnflüssigen Murgängen mit **grösserer Reichweite** beitragen.
- Vermutlich wird die Vorfeuchte im felsigen, steilen Teileinzugsgebiet «Spitze Stei» von mehrtägigen **Trockenperioden** übersteuert. Die Reduktion der Vorfeuchte-Periode ist zu prüfen.

- Murgänge wurden einzig aus der Geschiebezufuhr durch **Abbrüche aus Schuttablagerungen** ausgelöst. Felsabbrüche im obersten Bereich des Spitzen Steins hatten hingegen keine direkten Murgänge zur Folge.
- Das **Verhältnis Sturzkubatur / Murgangkubatur** lag in den letzten beiden Jahren bei ca. 1:1. Im Jahresverlauf **korreliert die Murgangkubatur** in etwa mit der Gesamtkubatur aus Sturzprozessen.

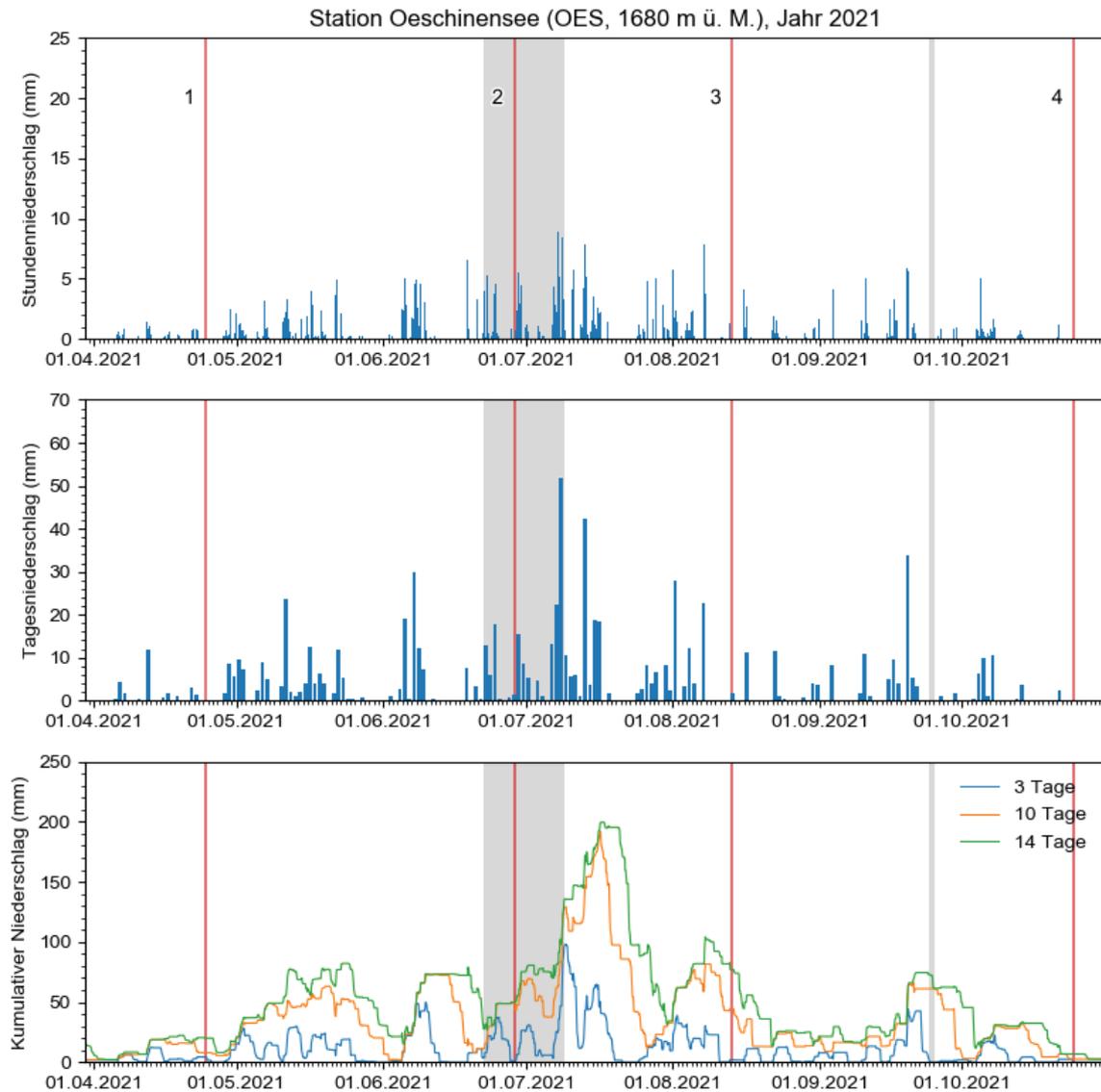
9. Schlussbemerkung und Ausblick

Die aussergewöhnliche Situation von 2021 mit später Ausaperung, grossen Lawinenablagerungen, nassem Frühsommer und einer Verschiebung der Sturzablagerungen ermöglichte es, das bisherige Dispositionsmodell zu prüfen, die Sensitivität der verschiedenen Parameter zu erkennen und das Modell entsprechend anzupassen und zu ergänzen. Im Hinblick auf die Saison 2022 ermöglicht dies eine bessere Murgang-Frühwarnung sowie eine genauere Abschätzung der Murgangvolumen. Ab der Murgangssaison 2022 wird ein neuer Pegelradar im Oeschibach wertvolle Zusatzdaten bezüglich Anzahl, Grösse und Zeitpunkt der Murgänge liefern können. Diese Informationen werden zukünftig in die Prozessanalyse Murgang integriert.

10. Quellen

- [1] GEOTEST AG (2020): Kandersteg, Oeschibach, Dispositionsmodell Murgang, Bericht Nr. 1420057.2
- [2] GEOTEST AG (2021): Kandersteg Rutschung «Spitze Stei», Entwicklung Sommer 2021. Bericht Nr. 1418139.21
- [3] GEOTEST AG (2022): Kandersteg Rutschung «Spitze Stei», Geschiebebilanz Oeschibach. Bericht Nr. 1418139.26
- [4] GEOTEST AG (2021): Kandersteg Rutschung «Spitze Stei», Modellierung oberflächlicher Wassereinträge. Bericht Nr. 1418139.20
- [5] GEOTEST AG (2021): Kandersteg Rutschung «Spitze Stei», Gefahrenmanagement 2021. Bericht Nr. 1418139.25
- [6] GEOTEST AG (2021): Drohnendaten Spitze Stei & Oeschibach
- [7] MeteoSchweiz: Niederschlags- und Temperaturdaten der Stationen Kandersteg, Öschinensee und Fisistock.
- [8] GEOTEST AG (2021): Bilder der automatischen Kameras Oeschibach
- [9] GEOPRAEVENT (2021): Bilder der PROCam Rosshubel HDR
- [10] NDR, Hunziker Gefahrenmanagement (2020): Spitze Stei, Sekundärprozesse. Faktenblätter und Erläuterungen.

Anhang 1 – Niederschlagsdaten 2021



Niederschlagsdaten: Basierend auf Stunden- und Tagesniederschläge sowie kumulative Niederschläge 3-, 10- und 14-Tage.

Grauer Balken: Hauptphase Murgang im Frühsommer

Rote Linien: Drohnenbefliegungen Oeschibach 2021

