
Bericht Nr. 1418139.21

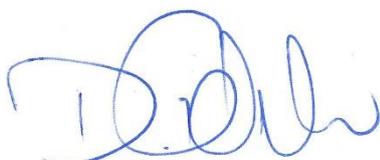
Einwohnergemeinde Kandersteg

**Kandersteg, Rutschung "Spitze Stei"
Entwicklung Sommer 2021**

Zollikofen, 25. Oktober 2021

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
Christian Kienholz	Ganzer Bericht
Supervision	Visierte Inhalte
Kaspar Graf	Ganzer Bericht
Daniel Tobler	Ganzer Bericht
Hinweise	



Daniel Tobler



Christian Kienholz

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	4
2.	Übersicht Bewegungsraten	4
3.	Winterphase	11
3.1	Beobachtungen / Messungen	11
3.1.1	Spitze Stei	11
3.1.2	Chalberspissibäche / Öschibach.....	16
3.2	Gefahrenbeurteilung und getroffene Massnahmen	17
4.	Beschleunigungsphase	19
4.1	Beobachtungen / Messungen	19
4.1.1	Rutschung Spitze Stei.....	19
4.1.2	Chalberspissibäche / Öschibach.....	25
4.2	Gefahrenbeurteilung und getroffene Massnahmen	27
5.	Beruhigungsphase	29
5.1	Beobachtungen / Messungen	29
5.1.1	Rutschung Spitze Stei.....	29
5.1.2	Chalberspissibäche / Öschibach.....	33
5.2	Gefahrenbeurteilung und getroffene Massnahmen	34
6.	Abschliessende Bemerkungen	35
7.	Quellen.....	36
	Anhang 1 – Bewegungsfelder Herbst 2020 – Herbst 2021.....	37
	Anhang 2 – Übersicht GPS / Reflektoren Spitze Stei	41

1. Einführung

Im nachfolgenden Bericht wird die Entwicklung der Rutschung Spitze Stei sowie der darunterliegenden Chalberspissibäche bzw. des Öschibaches (Abbildung 1) seit dem Frühjahr 2021 beschrieben und mit den Messungen der Vorjahre in Kontext gesetzt. Für die Entwicklung massgebende Faktoren werden erläutert und die getroffenen Massnahmen diskutiert.

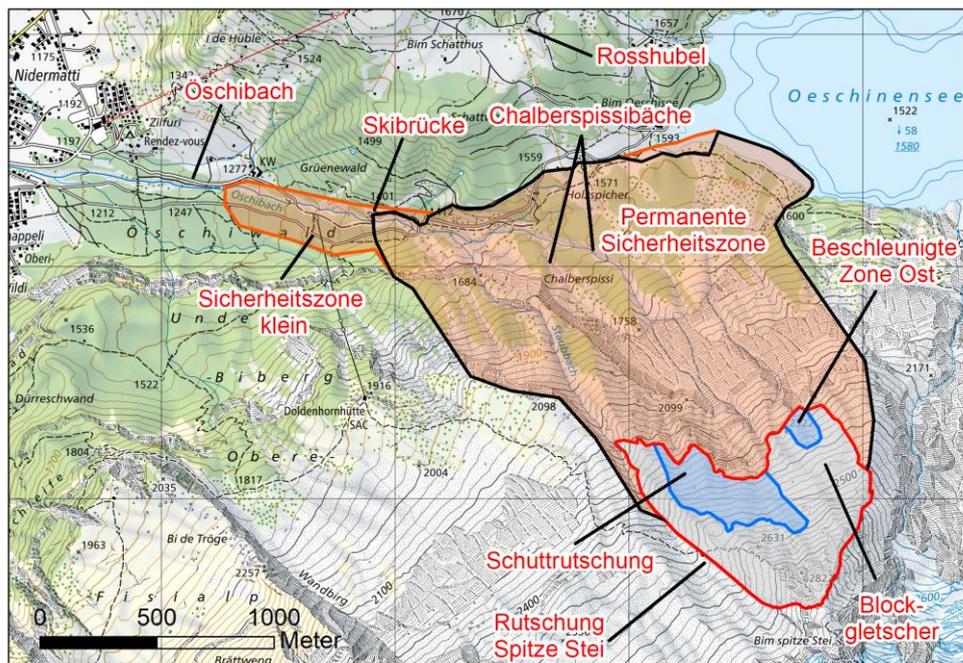


Abbildung 1: Übersichtskarte Spitze Stei. Im Bericht besprochene Örtlichkeiten und Zonen sind annotiert. Die rot umrandete Rutschung Spitze Stei umfasst eine Fläche von ca. 0.5 km^2 in einem Höhenbereich zwischen 2150 und 2850 m ü. M. Das Volumen der Rutschung beträgt knapp 20 Mio. m^3 . Die Schuttrutschung (grosse blau umrandete Zone, 0.11 km^2) umfasst gut 1 Mio. m^3 Schuttmaterial in einem Höhenbereich zwischen 2200 und 2600 m ü. M. Die beschleunigte Zone Ost (kleine blau umrandete Zone, 0.02 km^2) unterhalb eines kleinen Blockgletschers umfasst gut 0.2 Mio. m^3 Schuttmaterial in einem Höhenbereich zwischen 2250 und 2400 m ü. M.

2. Übersicht Bewegungskraten

Per Herbst 2021 werden in der Rutschung Spitze Stei unvermindert sehr hohe Bewegungen gemessen. Abbildung 2 zeigt die mittels Auswertung von Luftbildern flächig abgeleiteten Bewegungskraten für verschiedene Zonen der Rutschung im langjährigen Vergleich. Die braunen Balken decken die jüngste Messperiode zwischen Herbst 2020 und Herbst 2021 ab. Die den Berechnungen zu Grunde liegenden Bewegungsfelder sind in Anhang 1 einsehbar. In mehreren Zonen (insbesondere 4

und 10) wurden im vergangenen Jahr neue Rekordgeschwindigkeiten erreicht. In den weiteren Zonen waren die Bewegungsraten in der gleichen Größenordnung wie in der Messperiode davor (rote Balken, Herbst 2019 bis Herbst 2020), in welcher fast durchgehend neue Rekordgeschwindigkeiten erreicht worden sind.

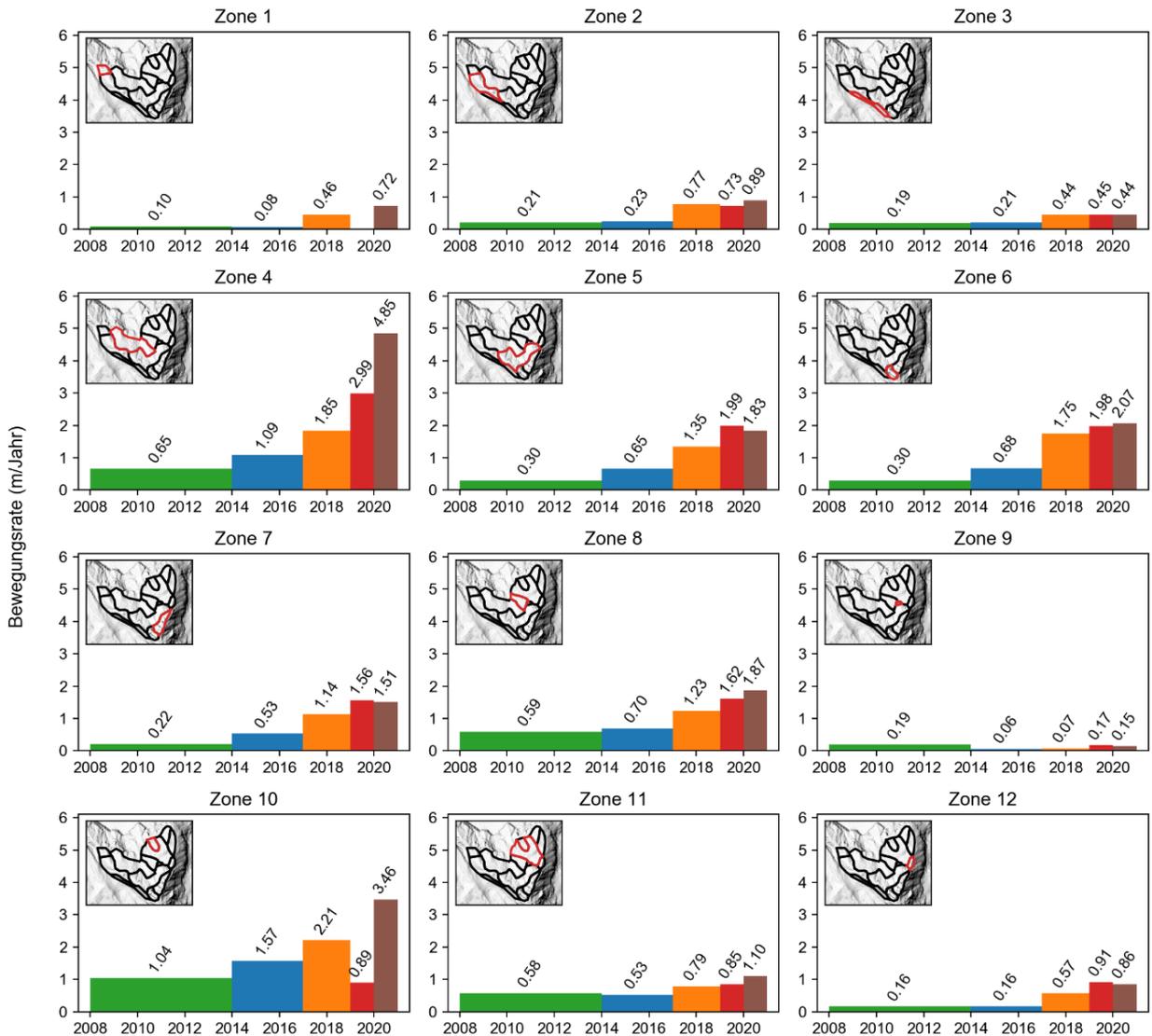


Abbildung 2: Gemittelte jährliche Bewegungsraten für die in [1] definierten Zonen der Rutschung Spitze Stei. Berechnungen wurden für die Perioden 2008 – 2014 (grün), 2014 – 2017 (blau), 2017 – 2019 (orange), 2019 – 2020 (rot) und 2020 – 2021 (braun) durchgeführt. Die Lage der Zonen ist in den Karten dargestellt. Die Bewegungsraten wurden mittels 2D-Feature-Tracking, basierend auf Luftbildern, bestimmt. Vgl. [1] und [2] für Informationen zur Datenprozessierung und Zonierung. Die Zonen 4 und 10 entsprechen der in Abbildung 1 blau umrandeten Zonen, welche 2021 eine besonders starke Beschleunigung zeigten. Für Zone 1 liegen für die Zeitperiode 2019 – 2020 keine zuverlässigen Daten vor.

Die Bewegungen der Rutschung Spitze Stei zeigen zusätzlich zu der in Abbildung 2 gezeigten mehrjährigen Entwicklung eine saisonale Komponente ([2], [3]). Mit dem Gefrieren des Untergrundes und der Akkumulation von Schnee wird der Wassereintrag in den Rutschkörper im Laufe des Winters stark reduziert, was zu einer Beruhigung führt. Mit der Schneeschmelze im Frühling und dem Auftauen des Untergrundes gelangt Wasser von der Oberfläche erneut in den Untergrund, was den Rutschkörper zur warmen Jahreszeit hin wieder beschleunigt.

Beobachtungen über die letzten Jahre haben gezeigt, dass die Rutschaktivität im Frühling bzw. Frühsommer zeitnah mit dem Auftauen des Untergrundes und dem entsprechenden Wassereintrag zunimmt ([2], [3]). Besonders rasch reagiert dabei die Schuttrutschung (Abbildung 1). Im Vergleich zur Beschleunigung im Frühling verläuft die Beruhigung im Winter gemächlicher. So werden die jährlichen Minimalgeschwindigkeiten in vielen Bereichen der Rutschung erst im Spätwinter (April, Mai) erreicht. Eine Ausnahme besteht wiederum mit der Schuttrutschung, welche im Spätherbst bzw. Frühwinter rasch auf die abnehmenden Wassereinträge reagiert und während des Winters generell geringe Bewegungen aufweist.

Abbildung 3 zeigt die Trajektorien (Bewegungspfade) von 13 im Rutschgebiet installierten GPS-Sensoren seit dem 01. Januar 2021. Die saisonale Entwicklung der mit den GPS gemessenen Bewegungsraten ist in Abbildung 4 mittels Wochendurchschnitten dargestellt. Ergänzend zeigt Abbildung 5 die Trajektorien von 30 installierten Messreflektoren und Abbildung 6 die entsprechenden Wochendurchschnitte der Bewegungsraten.

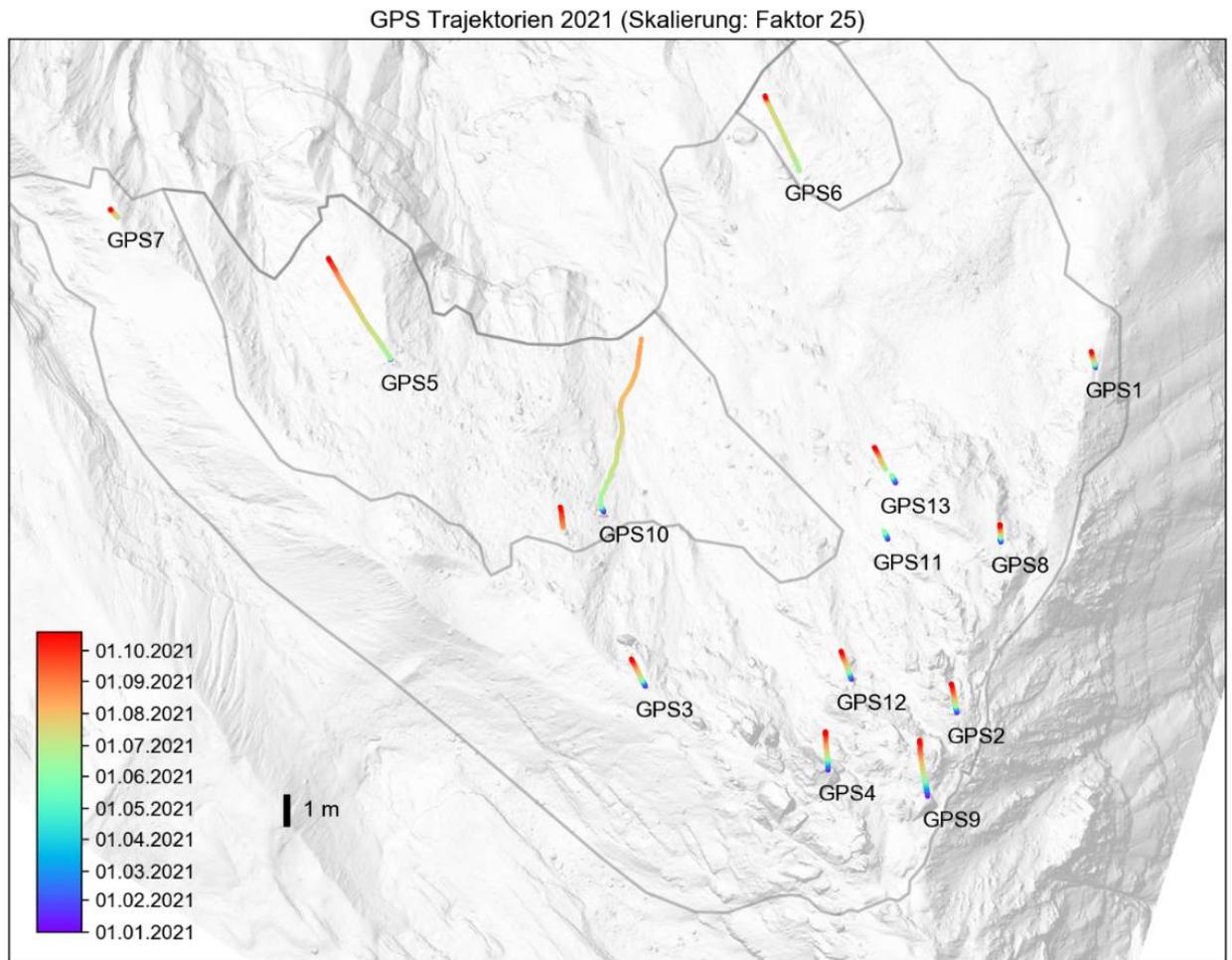


Abbildung 3: GPS-Trajektorien (nur Horizontalkomponente der Bewegung) für das Jahr 2021, um Faktor 25 verlängert (vgl. 1 m Massstab). Die Farbcodierung der Trajektorien variiert als Funktion der Zeit. Die GPS 5 und 6 wurden nach lawinenbedingten Ausfällen erst im Frühling 2021 neu installiert. GPS 10 wurde während der Saison an einen neuen Standort versetzt. GPS 11 wurde bei einem Steinschlagereignis beschädigt und nicht ersetzt. Die Umrisse der diskutierten Rutschkompartimente (Abbildung 1) sind mit grauen Linien über das Höhenmodell gezeichnet.

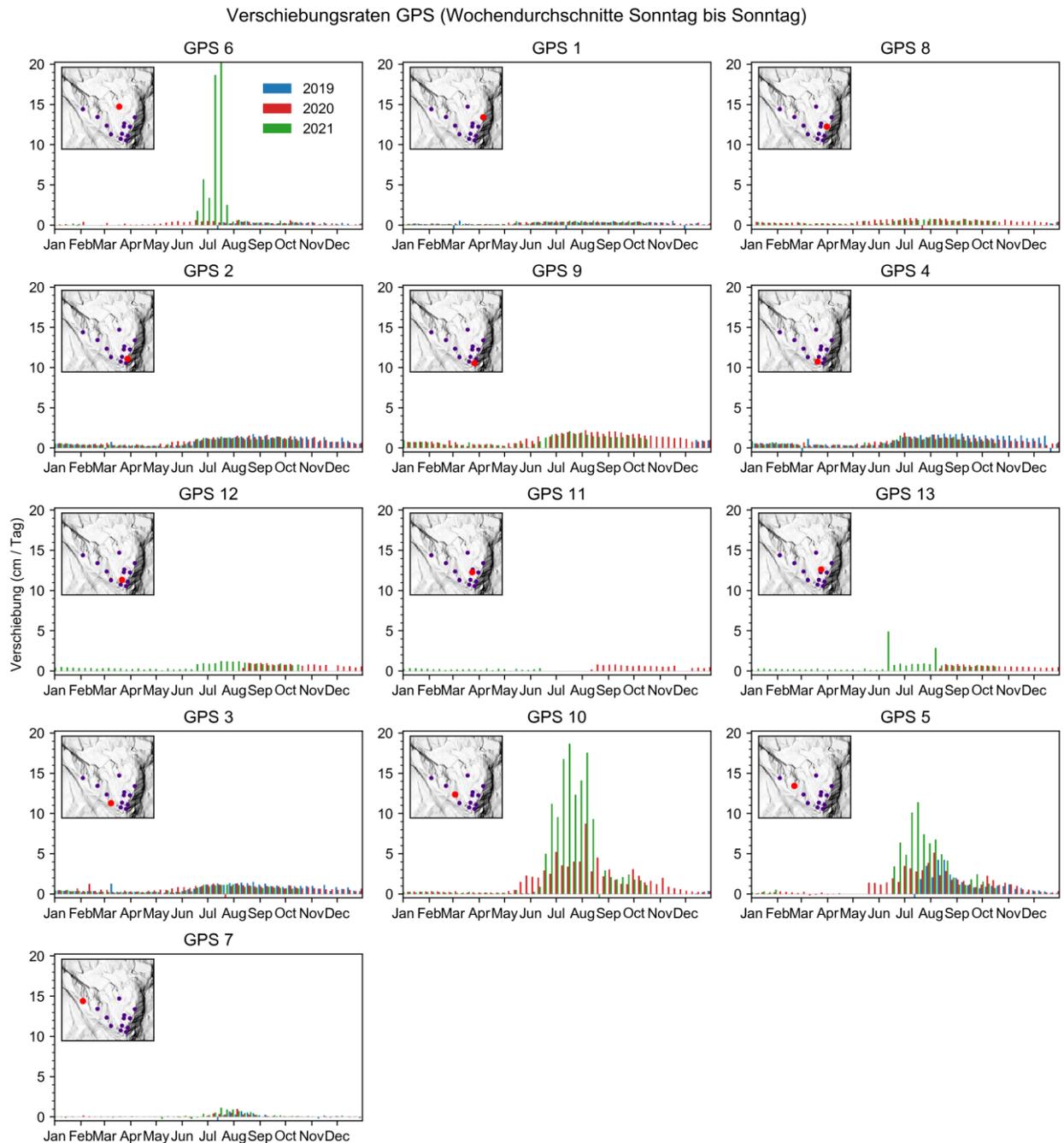


Abbildung 4: Wöchentlich gemittelte Verschiebungsraten (3D-Geschwindigkeiten) für die 13 installierten GPS. Grüne Säulen sind Messungen des Jahres 2021. Wo verfügbar sind die Messungen der Vorjahre (blaue Säulen: 2019, rote Säulen: 2020) auch dargestellt. Da mehrere GPS über die Jahre leicht verschoben werden mussten, sind die Geschwindigkeiten teilweise nicht direkt vergleichbar. Rote Punkte auf den Karten zeigen die GPS-Standorte (für Standorte vgl. auch Abbildung 3 und Anhang 2).

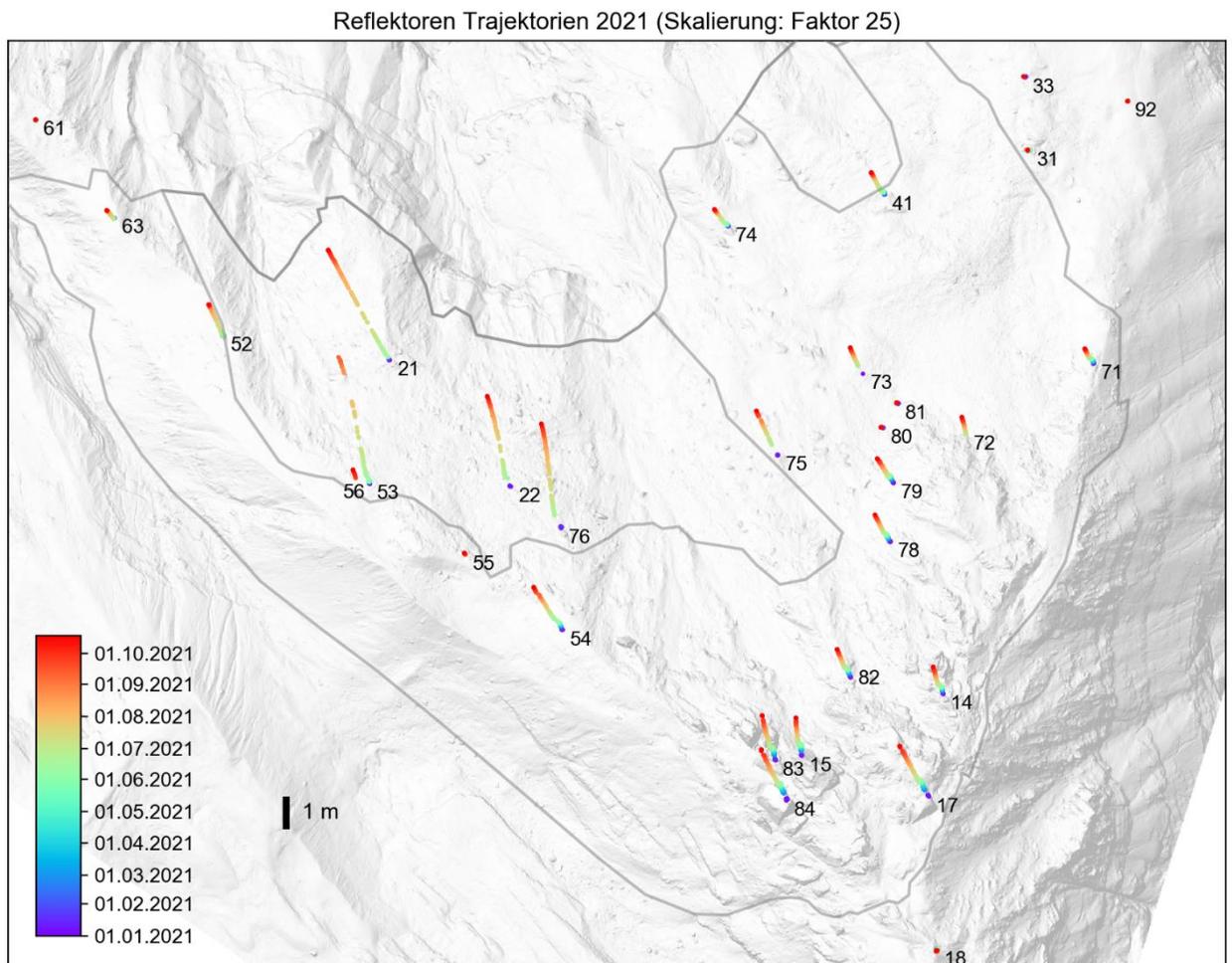


Abbildung 5: Trajektorien der Messreflektoren (Horizontalkomponente) für das Jahr 2021, um Faktor 25 verlängert (vgl. 1 m Massstab). Die Reflektoren 55 und 56 wurden im Sommer 2021 neu installiert. Die Umrisse der diskutierten Rutschkompartimente (Abbildung 1) sind mit grauen Linien dargestellt.

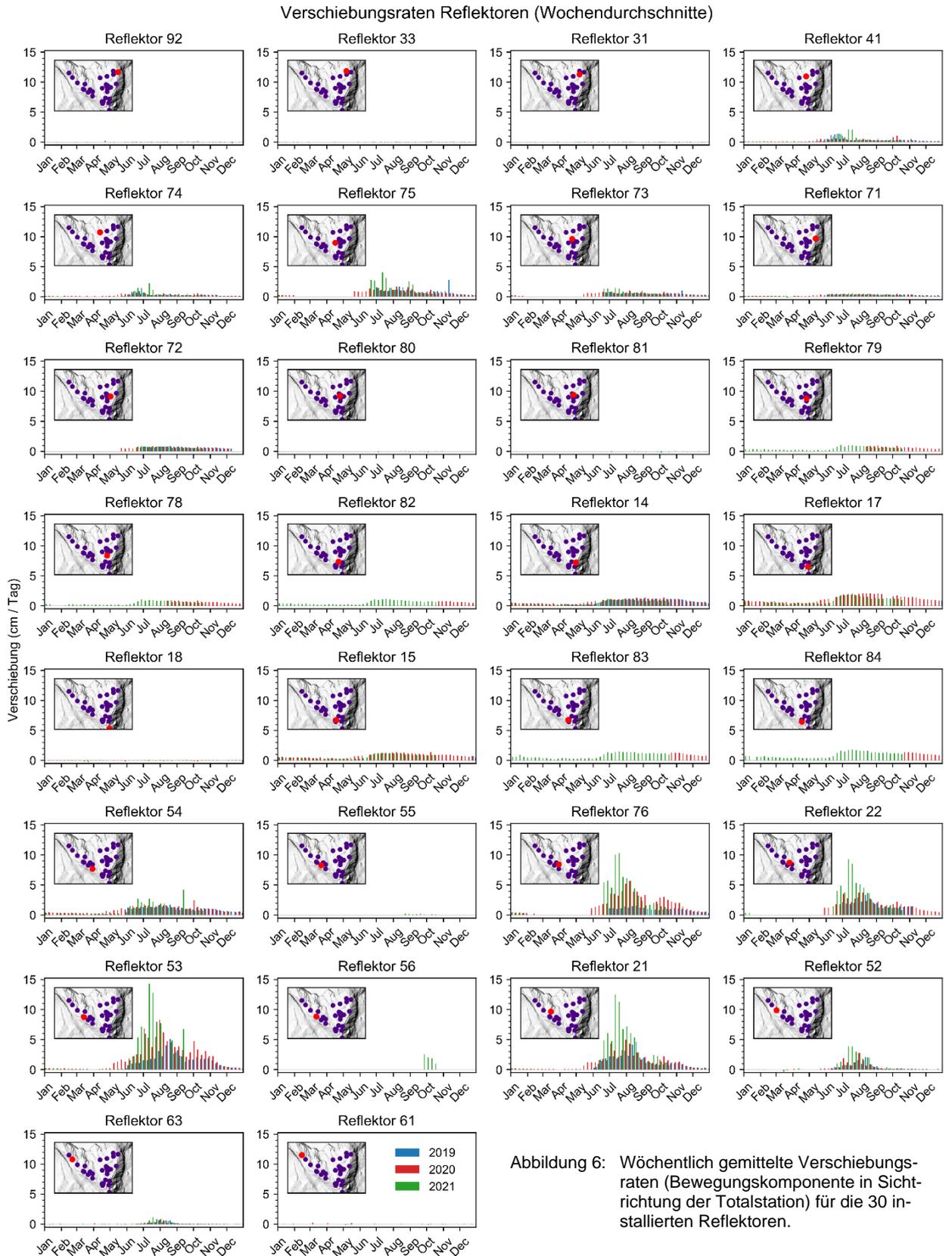


Abbildung 6: Wöchentlich gemittelte Verschiebungsraten (Bewegungskomponente in Sicht- richtung der Totalstation) für die 30 in- stallierten Reflektoren.

Die Verschiebungen der Messpunkte innerhalb des Rutschperimeters betragen per Herbst 2021 in den meisten Fällen mehrere Meter. Zeitlich kann die bisherige Entwicklung des Jahres 2021 grob in drei Phasen eingeteilt werden:

- 1) Winterphase
Winterruhe bis Anfang Juni. Die Periode ist geprägt durch schneereiche Hochwintermonate und kalte Spätwintermonate.
- 2) Beschleunigungsphase
Starke Beschleunigungen in der ersten Junihälfte, insbesondere im Bereich der Schuttrutschung sowie im östlichen Bereich der Rutschung Spitze Stei (blaue Flächen in Abbildung 1). Hohe Geschwindigkeiten bis ca. Mitte Juli (östlicher Bereich) bzw. Mitte August (Schuttrutschung). Die Periode ist geprägt zunächst durch hohe Schmelzwassereinträge, später durch ergiebige Niederschläge.
- 3) Beruhigungsphase
Ab Mitte August generelle Beruhigung im Zusammenhang mit den niederschlagsarmen Verhältnissen und dem reduzierten Schmelzwassereintrag. Die Beruhigung erfolgte im Falle der Schuttrutschung vergleichsweise rasch; die vorübergehenden Reaktivierungen bei Regenereignissen erfolgten jeweils ebenfalls zügig. Im Falle der Hauptrutschung war die Beruhigung stärker verzögert.

3. Winterphase

3.1 Beobachtungen / Messungen

3.1.1 Spitze Stei

Die Winterphase mit den saisonal reduzierten Rutschgeschwindigkeiten dauerte bis Anfang Juni 2021 an (Abbildung 4, Abbildung 6). Die Geschwindigkeiten in der Rutschung lagen in dieser Periode generell unter 1 cm / Tag. Bezüglich Ereignissen nennenswert sind die grossen Lawinen vom 28. Januar, bei denen GPS 5 und 6 im Frontbereich der Rutschung zerstört wurden. Am 09. Juni kam es zu einem Felssturz aus dem zentralen Ostgrat (Kubatur ca. 1000 m³), bei dem GPS 11 zerstört wurde. Ansonsten war die Sturzaktivität gering.

Im Vergleich zum Vorjahr dauerte die Winterphase im Jahr 2021 mehrere Wochen länger. Dies ist insbesondere auf die kalten Spätwintermonate April und Mai 2021

zurückzuführen. So wurden an der Station Fisistock (2155 m ü. M.) ca. 3 km südwestlich der Rutschung Spitze Stei im April und Mai 2021 nur 34 bzw. 73 positive Gradtage¹ gemessen (Abbildung 7). Im April des Vorjahres 2020 waren es 113 (April) bzw. 173 (Mai) positive Gradtage. Die tiefen Temperaturen verzögerten die Schneeschmelze und damit den Schmelzwassereintrag in den Rutschkörper.

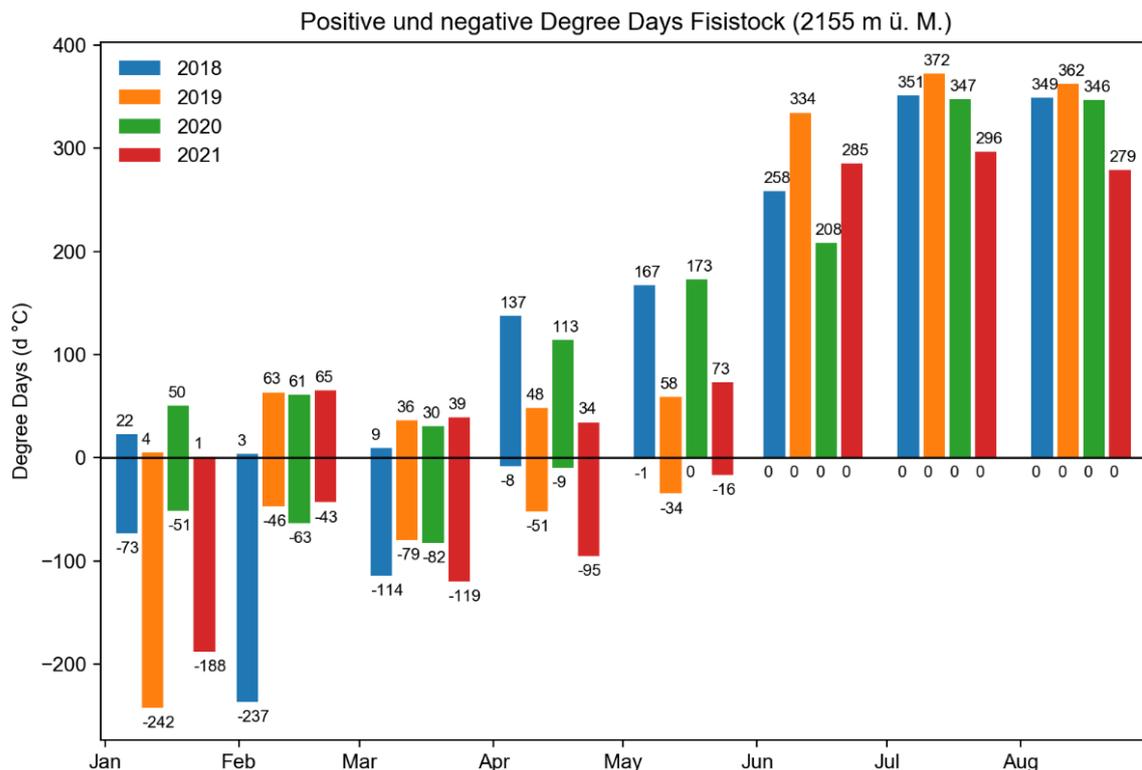


Abbildung 7: Monatliche Summen positiver und negativer Gradtage an der Station Fisistock. Die Grafik umfasst die Periode Januar – August der Jahre 2018 bis 2021. Die Station Fisistock liegt rund 3 km südwestlich der Rutschung Spitze Stei. Die Stationshöhe (2155 m ü. M.) entspricht dem untersten Bereich der Rutschung Spitze Stei (Höhenbereich 2150 bis 2850 m ü. M.).

Die verzögerte Schneeschmelze wird durch Schneemächtigmessungen an der Station Fisistock (Abbildung 8) bestätigt. So aperte die Station erst Mitte Juni 2021 vollständig aus, ca. eineinhalb Monate später als im Frühling 2020 (Ausaperung Ende April). Die Stationsdaten zeigen auch, dass das spätere Ausapern neben den

¹ Ein Tag mit einer Durchschnittstemperatur von 1°C entspricht einem Gradtag (1 d °C), ein Tag mit einer Durchschnittstemperatur von 2°C zwei Gradtagen (2 d °C). Die Anzahl positiver Gradtage bestimmt die Schneeschmelzrate und damit den Wassereintrag in den Untergrund. Für die Berechnung der monatlichen Schneeschmelze eignet sich die Grösse der Gradtage besser als jene der monatlichen Durchschnittstemperatur.

tiefere Temperaturen der Spätwintermonate 2021 auch auf die grösseren Schneemengen während des Winters 2020 – 2021 (z.B. im Januar, März 2021) zurückzuführen ist.

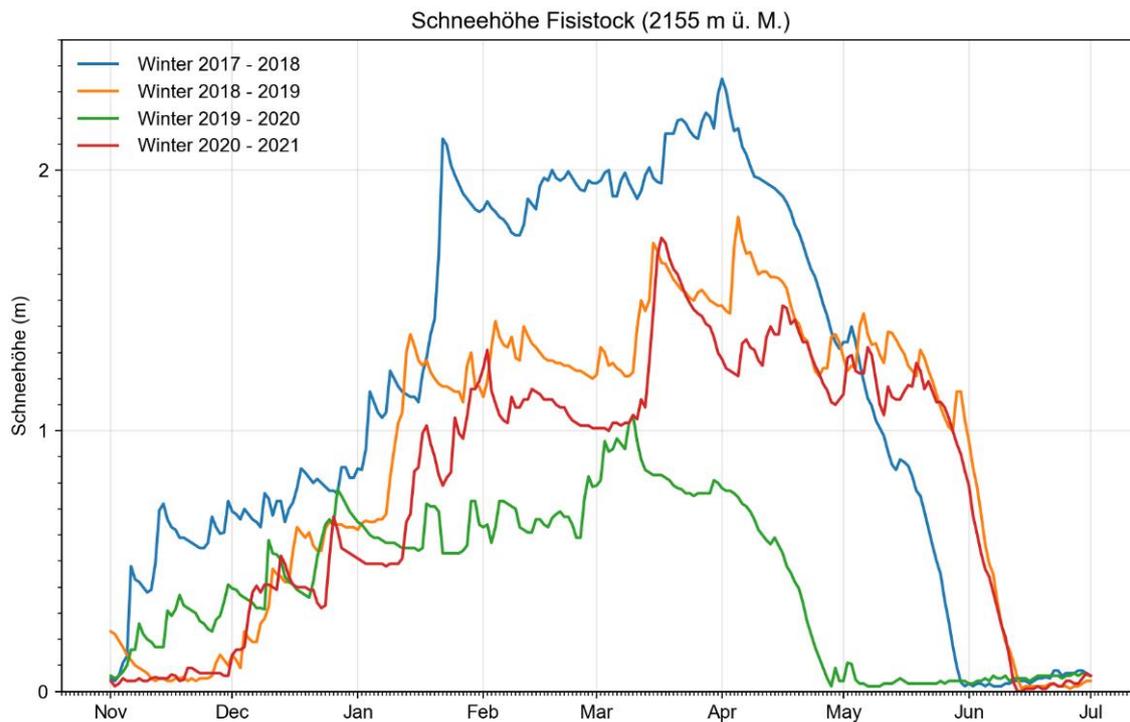


Abbildung 8: Seit Winter 2017 – 2018 gemessene Schneehöhen an der Station Fisistock. Dargestellt sind jeweils die Monate November bis Juni. Der Winter 2020 – 2021 (rote Kurve) war schneereicher als der Winter 2019 – 2020 (grüne Kurve), ähnlich schneereich wie der Winter 2018 – 2019 (orange Kurve), jedoch weniger schneereich als der Winter 2017 – 2018 (blaue Kurve).

Mit einer computergestützten Analyse der Aufnahmen der Überwachungskamera Rosshubel wurde die Ausaperung des Spitze Steis für das Jahr 2020 und 2021 rekonstruiert (Abbildung 9). Aus den Daten wird ersichtlich, dass die Rutschung Spitze Stei bis Ende Mai noch fast vollständig schneebedeckt war. Der Vergleich mit den teilweise vorhandenen Daten aus dem Jahr 2020 bestätigt die deutlich spätere Ausaperung.

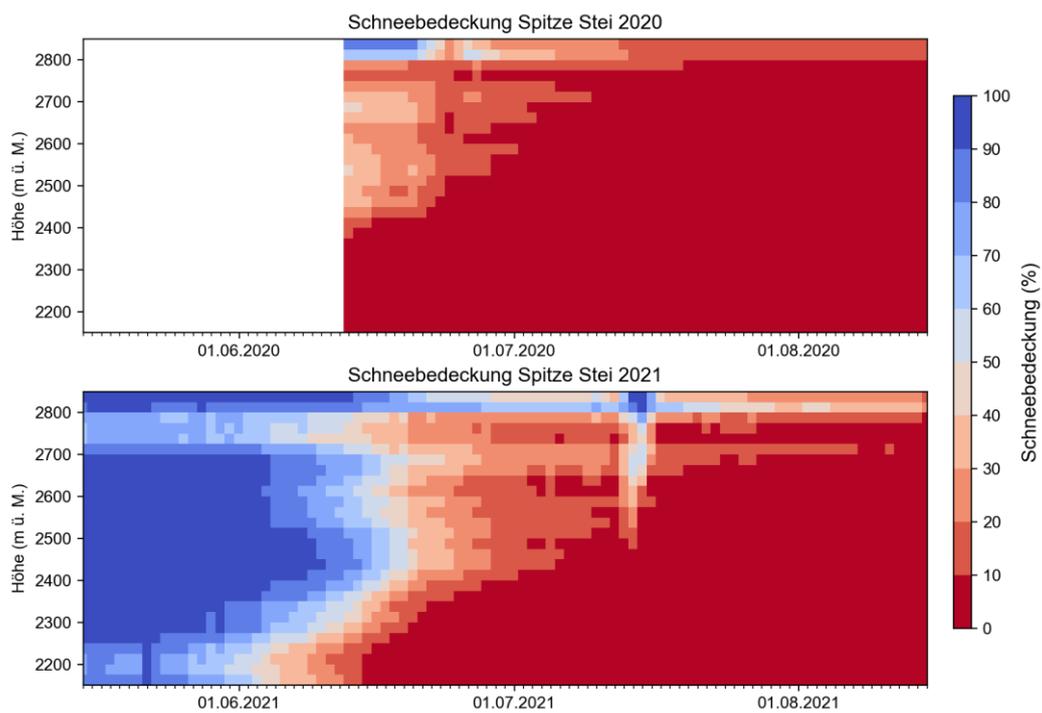


Abbildung 9: Schneebedeckung Rutschung Spitze Stei Mitte Juni 2020 (Foto oben links) und Mitte Juni 2021 (Foto oben rechts). Die Fotos wurden von der Überwachungskamera Rosshubel aufgenommen (vgl. Abbildung 1 für Kamerastandort). In den beiden Rastergrafiken unten ist die Schneebedeckung der Rutschung Spitze Stei pro 25 m Höhenstufe und in Tagesschritten quantifiziert. Die für die Klassifizierung [4] eingesetzten Fotos der Kamera Rosshubel sind erst ab Mitte Juni 2020 verfügbar.

Die Kombination der in Abbildung 9 dargestellten Schneebedeckungszeitreihe mit einem Schneeschmelzmodell ermöglicht quantitative Aussagen zum Wassereintrag in die Rutschung Spitze Stei infolge Regen und Schneeschmelze [4]. Die Modellierungen zeigen, dass der Wassereintrag bis Ende Mai 2021 noch gering war (Abbildung 10). Im gleichen Zeitraum des Vorjahres wurden bereits Rekordeinträge erreicht (Abbildung 11), was die frühere Beschleunigung im Frühling 2020 im Vergleich zum Jahr 2021 weitgehend erklärt.

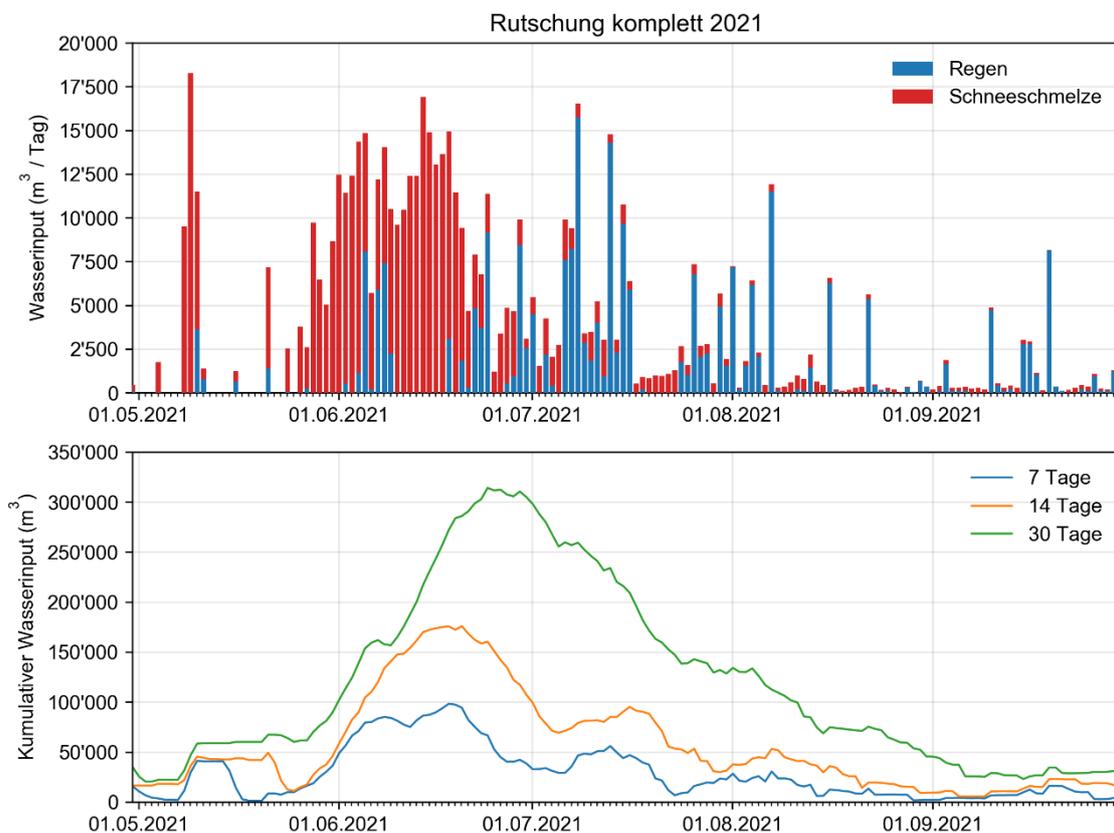


Abbildung 10: Säulendiagramme: Täglicher Wassereintrag in die Rutschung Spitze Stei infolge Niederschlags (blaue Säulen) und Schneeschmelze (rote Säulen) für das Jahr 2021. Linien: Wassereinträge aus Niederschlag und Schneeschmelze kumuliert über Zeiträume von 7, 14 und 30 Tagen.

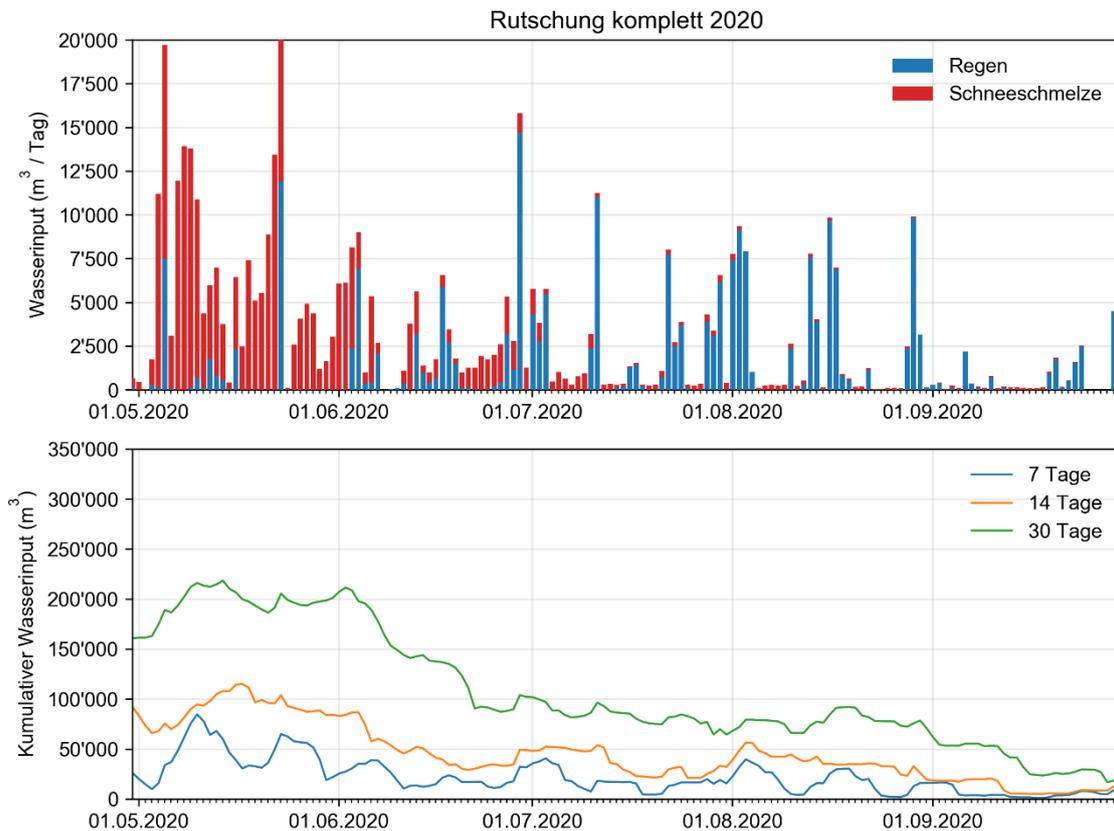


Abbildung 11: Säulendiagramme: Täglicher Wassereintrag in die Rutschung Spitze Stei infolge Niederschlags (blaue Säulen) und Schneeschmelze (rote Säulen) für das Jahr 2020. Linien: Wassereinträge aus Niederschlag und Schneeschmelze kumuliert über Zeiträume von 7, 14 und 30 Tagen.

3.1.2 Chalberspissibäche / Öschibach

Die Lage in den Bächen blieb während des Winters ruhig. In den Gräben der Chalberspissibäche kam es während des schneereichen Winters zu mächtigen Lawinenablagerungen (Abbildung 12), welche in den Frühsommermonaten die Entstehung von Murgängen begünstigten.



Abbildung 12: Mächtige Lawinenablagerungen im Gerinne der Chalberspissibäche bzw. des Öschibaches unterhalb der Rutschung Spitze Stei (Aufnahmezeitpunkt 24. April 2021).

3.2 Gefahrenbeurteilung und getroffene Massnahmen

Die Gefahrenstufen für die Rutschung Spitze Stei lagen während der Winterphase durchgehend auf Stufe 2 (mässig) im Bereich der Schuttrutschung und Stufe 3 (erheblich) im Bereich der restlichen Rutschung. Vgl. Tabelle 1 für Gefahrenstufendefinition sowie Sicherheitskonzept der Gemeinde Kandersteg [5] für zusätzliche Hintergrundinformationen. Die tiefere Gefahrenstufe der Schuttrutschung reflektiert die raschere Beruhigung und die generelle Winterruhe dieses Rutschbereiches über die Wintermonate.

Für den Öschibach wurde die Gefahrenstufe 1 (gering, Tabelle 2) ausgegeben. Neben den im Sicherheitskonzept [5] umschriebenen Minimalmassnahmen (permanent geschlossene Sicherheitszone für Ereignisse < 200'000 m³, vgl. Abbildung 1) wurden der Gemeinde keine zusätzlichen Massnahmen zur Umsetzung empfohlen.

Tabelle 1: Gefahrenstufen «Spitze Stei».

Gefahrenstufe		Bedeutung
1	Gering	- Keine relevante Bewegung der gesamten Masse
2	Mässig	- Gesamte Masse mit geringen Geschwindigkeiten (wenige mm/Woche) in Bewegung - Konstante Bewegung ohne Anzeichen für Beschleunigung ↳ Bewegungsraten weit weg von kritischen Werten für bevorstehenden, grösseren Abbruch
3	Erheblich	- Teile der Masse mit beträchtlichen Geschwindigkeiten (etliche mm bis wenige cm/Woche) in Bewegung - Leicht variierende Bewegungsrate, aber ohne deutliche Anzeichen für Abbruch ↳ kleinere Abbrüche von weniger als 100'000 m ³ im Einzelereignis möglich
4	Gross	4A - Teile der Masse mit hohen Geschwindigkeiten in Bewegung (einige cm/Woche) - Klare Anzeichen einer Beschleunigung - Prognostizierter Abbruchzeitpunkt (time of failure) aufgrund aktueller Bewegungsrate frühestens in 5 - 10 Tagen ↳ Abbruch von mindestens einigen 100'000 m ³ <u>in naher Zukunft möglich</u>
		4B - Teile der Masse mit hohen Geschwindigkeiten in Bewegung (einige cm/Woche) - Anhaltende und verstärkte Anzeichen einer Beschleunigung - Prognostizierter Abbruchzeitpunkt (time of failure) aufgrund aktueller Bewegungsrate in weniger als 5 - 10 Tagen ↳ Abbruch von mindestens einigen 100'000 m ³ <u>innerhalb der nächsten Tage möglich</u>
5	Sehr gross	- Teile der Masse mit sehr hohen Geschwindigkeiten in Bewegung (einige cm/Tag) - Point of no return mit grosser Wahrscheinlichkeit überschritten ↳ Abbruch von einigen 100'000 m ³ <u>innerhalb weniger Tage zu erwarten</u>

Tabelle 2: Gefahrenstufen «Öschibach».

Gefahrenstufe		Zu erwartende Konsequenzen
1	Gering	Keine Geschiebeverfrachtungen zu erwarten
2	Mässig	Kleinere Geschiebeverfrachtungen (einige 100 bis wenige 1'000 m ³) können auftreten
3	Erheblich	Grössere Geschiebeverfrachtungen oder kleinere Murgänge (einige 1'000 m ³) können auftreten (z.B. Szenario E1, E2)
4	Gross	Murgänge von vielen 1'000 bis einigen 10'000 m ³ müssen erwartet werden (z.B. Szenario B, E3).
5	Sehr gross	Murgänge von vielen 10'000 m ³ zu erwarten.

4. Beschleunigungsphase

4.1 Beobachtungen / Messungen

4.1.1 Rutschung Spitze Stei

In der ersten Junihälfte kam es zu einer starken Beschleunigung von Teilbereichen der Rutschung Spitze Stei. Besonders ausgeprägt war die Geschwindigkeitszunahme im Bereich der Schuttrutschung (GPS 5, 10) sowie im östlichen Rutschbereich bei GPS 6 (vgl. Abbildung 3 sowie Anhang 2 für GPS-Standorte). Mitte Juli erreichten die Messpunkte in den beiden Bereichen wöchentliche Durchschnittsgeschwindigkeiten um 20 cm / Tag, womit die Bewegungsraten der Vorjahre teilweise um ein Mehrfaches überschritten wurden (Abbildung 4, Abbildung 6). Ausserhalb der genannten Bereiche lagen die Geschwindigkeiten in einer ähnlichen Grössenordnung wie im Vorjahr.

Mit der Installation des interferometrischen Radars am Standort Rosshubel Mitte Juni 2021 konnten die Geschwindigkeiten flächig bestimmt werden. Abbildung 13 zeigt ein von den Radarmessungen abgeleitetes Geschwindigkeitsfeld für den 15. Juli 2021. Zu diesem Zeitpunkt wurden im Bereich der Schuttrutschung (Annotation 1) sowie im östlichen Bereich unterhalb des Blockgletschers (Annotation 2) sehr hohe Bewegungen (> 25 cm / Tag in Sichtrichtung des Radars) gemessen. In der zweiten Julihälfte nahmen die Bewegungen im östlichen Bereich abrupt wieder ab. Im Bereich der Schuttrutschung setzte die Abnahme später ein und fiel gemächlicher aus (Abbildung 4).

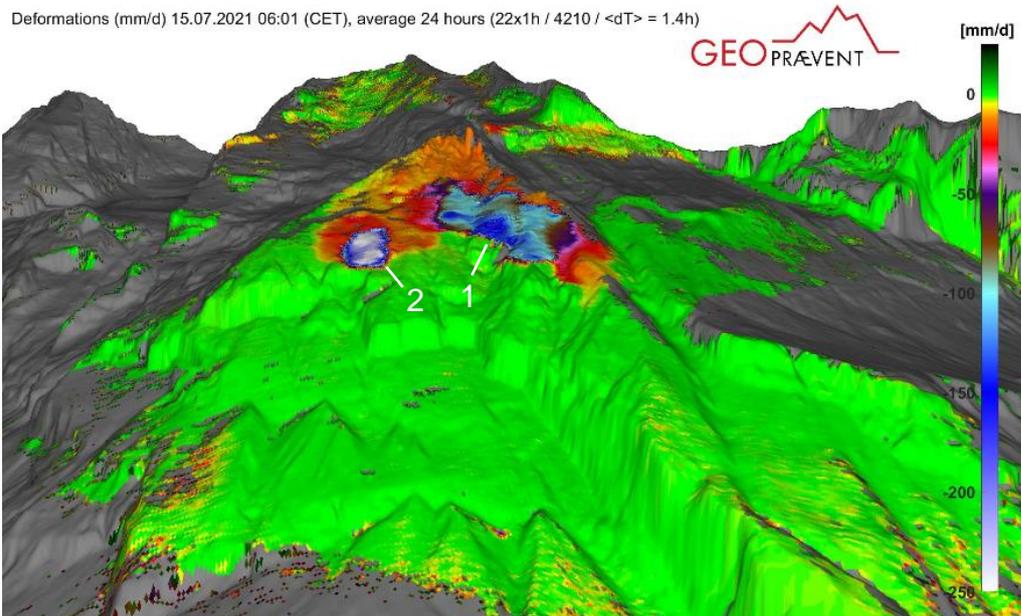


Abbildung 13: Am 15. Juli 2021 per Radar gemessene Bewegungsraten der Rutschung Spitze Stei überlagert auf das Höhenmodell des Gebietes. Radarmessungen zeigen nur die Bewegungskomponente in Sichtrichtung des Radars, d.h. die tatsächliche Bewegungsrate wird unterschätzt.

Mit den starken Bewegungen kam es zu zahlreichen Abstürzen, insbesondere aus dem Frontbereich der Rutschung. Die Ereignisse wiesen ausschliesslich kleine Kubaturen auf. Ab Mitte Juli war der Perimeter genügend ausgeapert, dass mittels Höhenmodellvergleichen die Geländeänderungen und damit auch die Kubaturen der abgestürzten Pakete quantifiziert werden konnten. Abbildung 14 zeigt eine entsprechende Karte für die Periode 20. Juli (erster Drohnenflug) bis 13. August (zweiter Drohnenflug). Die in diesem Zeitraum abgestürzten Fels- bzw. Schuttpakete hatten Volumen in der Grössenordnung von einigen 10 bis wenigen 100 m³. Ein Teil des Materials wurde unterhalb des Rutschperimeters zwischengelagert und gelangte damit nicht direkt in die Gerinne der Chalberspissibäche.

Volumina (m³) Ereignisse Periode 20.07.2021 - 13.08.2021

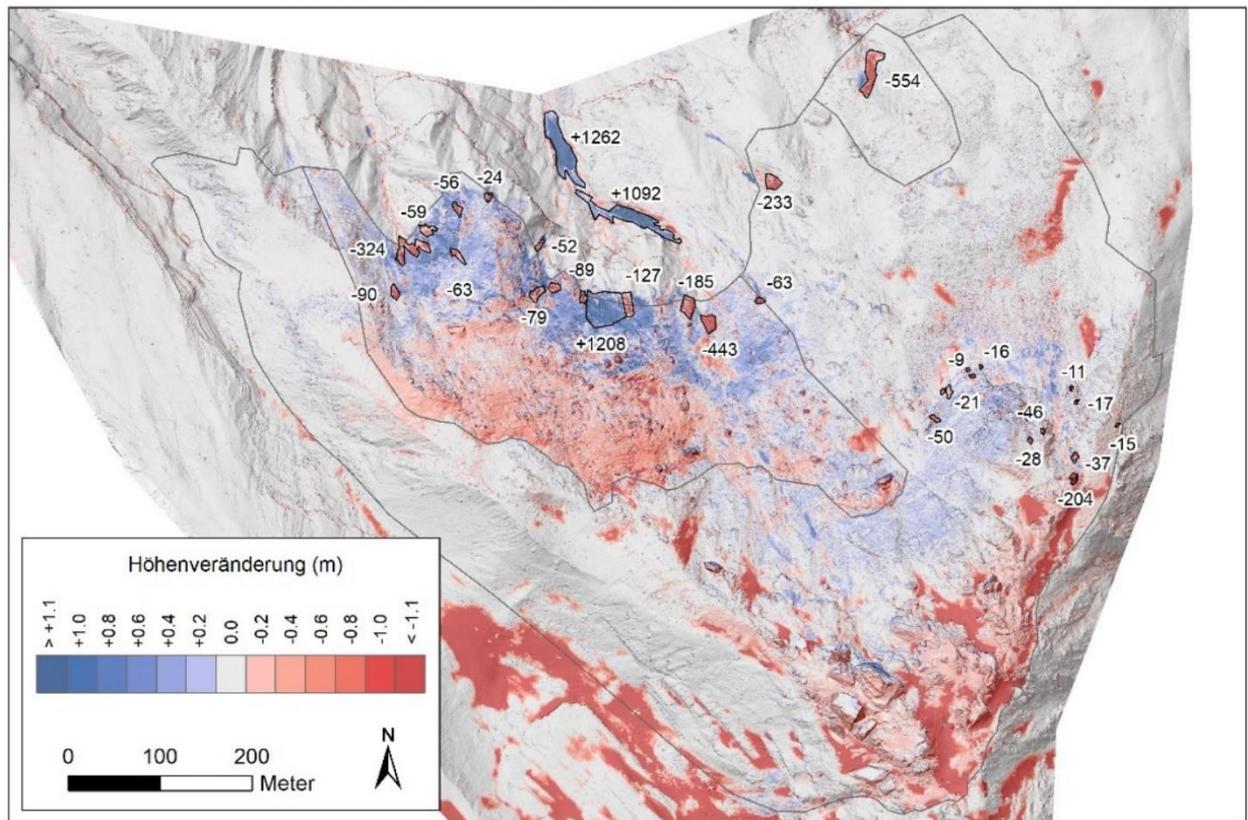


Abbildung 14: Höhenveränderungen Rutschung Spitze Stei über die 24-Tage Periode 20. Juli 2021 bis 13. August 2021. Die Umriss der im Bericht diskutierten Rutschkompartimente (Abbildung 1) sind mit grauen Linien über das Höhenmodell gezeichnet. Rottöne zeigen Bereiche, in welchen das Gelände beim zweiten Drohnenflug tiefer lag als beim ersten (Materialverluste aufgrund plötzlicher Sturz- oder Rutschprozesse oder kontinuierlicher Rutschbewegungen). Blautöne zeigen Bereiche, in welchen das Gelände bei der Zweitmessung höher lag (Materialakkumulation aufgrund Sturz- oder Rutschprozesse oder kontinuierlicher Rutschbewegungen). Höhenveränderungen ± 10 cm sind grau eingefärbt. Bzgl. Höhenveränderung / Einfärbung vgl. auch Abbildung 15. Schwarze Umrandungen roter Flächen identifizieren Abbruchgebiete; die entsprechenden Absturzkubaturen (m³) sind annotiert. Schwarze Umrandungen blauer Flächen identifizieren ausgewählte Akkumulationsgebiete. Im Falle der grösseren umrandeten Fläche im Frontbereich der Schuttrutschung (+1208 m³) wurde die Kubatur des zur Geländekante geschobenen Materials evaluiert. Insbesondere im Gipfelbereich lag zum Zeitpunkt der Drohnenaufnahmen noch verbreitete Schnee. Die Schneeschmelze führte zu Höhenverlusten, welche nicht auf Sturz- oder Rutschereignisse zurückzuführen sind (dunkelrote Flächen ohne schwarze Umrandung).

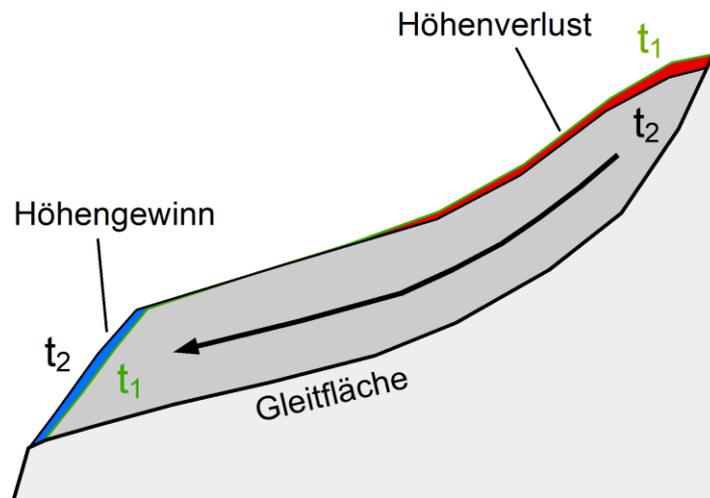


Abbildung 15: Schematischer Querschnitt durch einen imaginären Rutschkörper zum Zeitpunkt t_1 (Oberfläche als grüne Linie, von Höhenmodell 1 abgeleitet) und t_2 (Oberfläche als schwarze Linie, von Höhenmodell 2 abgeleitet). Zur besseren Lesbarkeit ist die Situation vertikal überhöht. Mit der vorliegenden Geometrie führt die Rutschbewegung zu einem Höhenverlust im oberen Bereich der Rutschung (rot eingefärbt) und einem Höhengewinn im unteren Bereich (blau eingefärbt). Kleinere und grössere Abstürze aus der Front zwischen Zeitpunkt t_1 und t_2 können zu Materialverlusten und damit abschnittsweise zu «weniger blau» bzw. rot eingefärbten Frontbereichen führen.

Die starken Beschleunigungen in der Schuttrutschung sowie im Bereich Ost sind teilweise eine Folge der grossen Wassereinträge durch Schneeschmelze und Regen. Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen, dass die Wassereinträge in die Schuttrutschung 2021 grösser bis deutlich grösser waren als im Jahr 2020, insbesondere über längere Kumulationsperioden. So überstiegen die über 30 Tage kumulierten Wassereinträge in die Schuttrutschung Ende Juni 2021 70'000 m³. Im Vorjahr betrug die über 30 Tage erreichten Maximizeinträge nur knapp über 50'000 m³. Erreicht wurden diese Maximizeinträge bereits Anfang Mai 2020.

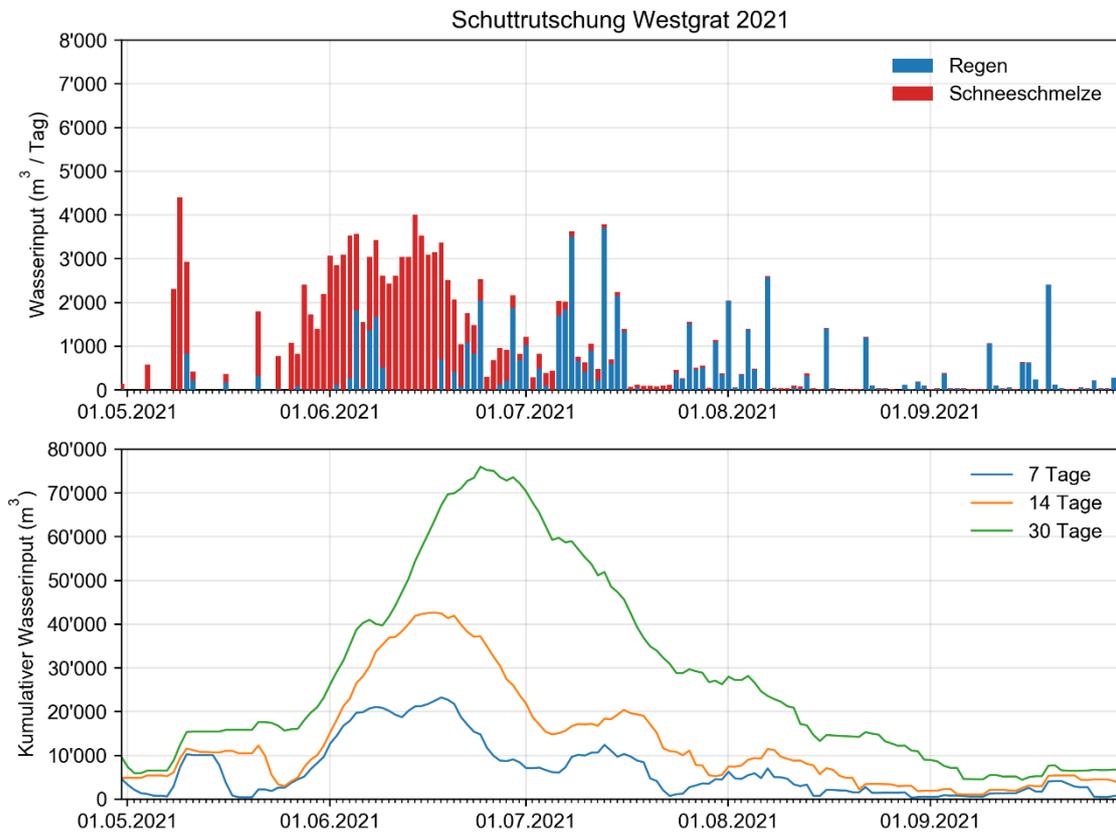


Abbildung 16: Säulendiagramme: Täglicher Wassereintrag in die Schuttrutschung infolge Niederschlags (blaue Säulen) und Schneeschmelze (rote Säulen) für das Jahr 2021. Linien: Wassereinträge aus Niederschlag und Schneeschmelze kumuliert über Zeiträume von 7, 14 und 30 Tagen.

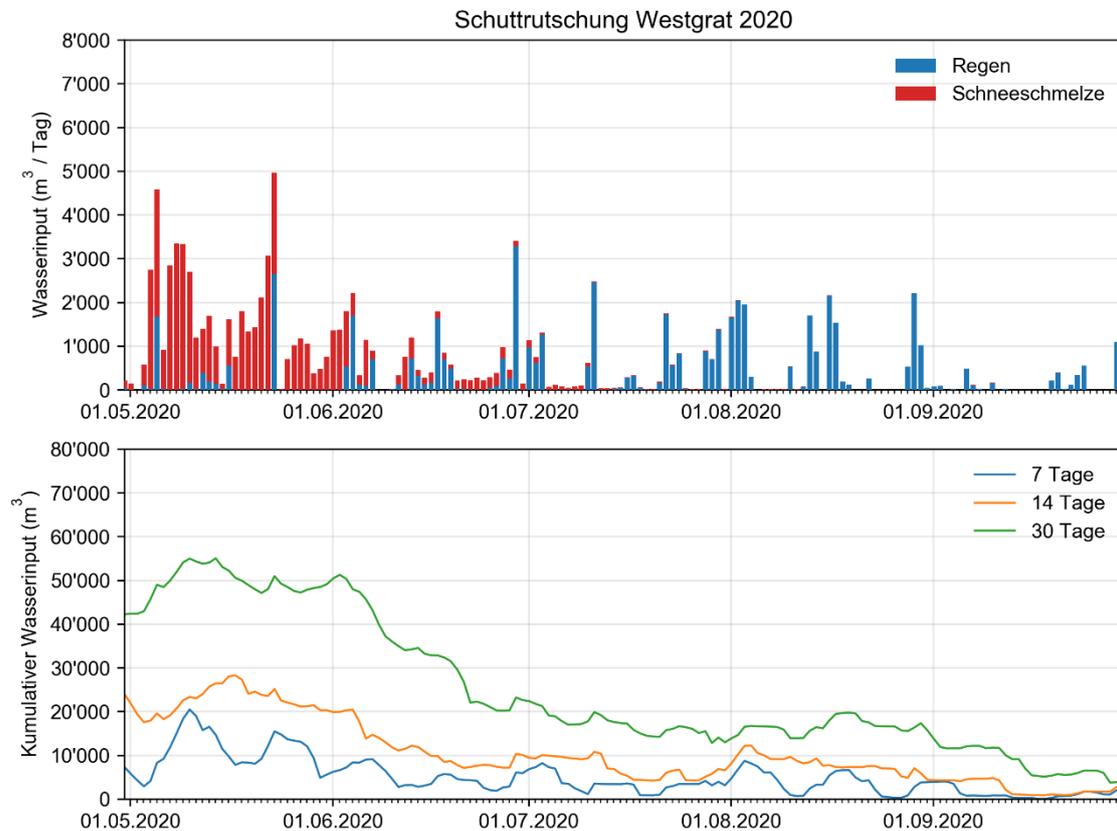


Abbildung 17: Säulendiagramme: Täglicher Wassereintrag in die Schuttrutschung infolge Niederschlags (blaue Säulen) und Schneeschmelze (rote Säulen) für das Jahr 2020. Linien: Wassereinträge aus Niederschlag und Schneeschmelze kumuliert über Zeiträume von 7, 14 und 30 Tagen.

Neben dem grossen Wassereintrag dürfte eine generell fortschreitende Destabilisierung dieser teilweise mit Permafrost durchsetzten Gebiete für die Beschleunigung eine wichtige Rolle spielen. Dies insbesondere im Kontext der langjährigen Entwicklung (Abbildung 2), die mit variierenden Wassereinträgen nicht erklärt werden kann. Obwohl nicht modelliert (aufgrund fehlender Messdaten), war der Wassereintrag im Frühling 2018 wahrscheinlich in einer ähnlichen Grössenordnung wie im Frühling 2021 (vgl. dazu Ausaperung an der Station Fisistock, Abbildung 8), ohne dass die Geschwindigkeiten in der entsprechenden Periode gleich stark zugenommen hätten.

4.1.2 Chalberspissibäche / Öschibach

In den Chalberspissibächen bzw. dem Öschibach blieb es bis zum 22. Juni ruhig. Zwischen dem 22. Juni und dem 09. Juli kam es zu zahlreichen Murgängen, welche generell Kubaturen in der Grössenordnung von einigen 1000 m³ aufwiesen. Ab dem 09. Juli beruhigte sich die Situation erneut.

Die grössten Murgänge am Abend des 22. Juni gelangten bis unter das Kraftwerk Zilfuri und führten zu Ablagerungen mit einer Mächtigkeit von rund 2 m Höhe. Im Bereich unterhalb der Skibrücke erreichten die Ablagerungen rund 4 m Mächtigkeit. Auch am 24. Juni, 29./30. Juni und zwischen dem 07. bis 09. Juli kam es zu mehreren Murgängen, welche grössere Schuttkubaturen ablagerten, insbesondere im Gerinneabschnitt zwischen der Skibrücke und dem Kraftwerk Zilfuri. Schäden an der Infrastruktur blieben weitgehend aus, u.a. auch wegen der vorgängig getroffenen Sicherheitsvorkehrungen (z.B. Demontage der Brücke beim Tirolerwehr Zilfuri). Im Strassenbereich unterhalb der Rinderstutzbrücke kam es nach Ausbrüchen bei der alten Rinderstutzbrücke verschiedentlich zu Geschiebeablagerungen; am 24. Juni waren diese Ablagerungen besonders mächtig.



Abbildung 18: Murgänge im Bereich des Zusammenflusses der beiden Chalberspissibäche (oben) sowie bei der Skibrücke (unten). Datum Aufnahmen: 22. Juni 2021.

Zu Beginn der Phase mit erhöhter Murgangaktivität reichten geringe Niederschläge für eine Murgangauslösung aus. So fielen am 22. Juni an der Station Öschinensee

nur 13 mm Niederschlag, mit maximalen Stundenintensitäten von rund 5 mm (Abbildung 19). Auch die Vorfeuchte durch Niederschläge war sehr gering. Mit 25 mm über 14 Tage blieb sie unter dem in der Dispositionsanalyse [7] festgelegten Schwellenwert von 57 mm / 14 Tage. Dies deutet darauf hin, dass die Lawinenschneeablagerungen in den Chalberspissibächen für die Murgangaktivität wichtig waren. Möglicherweise spielte der Schnee bereits bei der Entstehung der Murgänge eine Rolle, z.B. durch Staueffekte im Bereich kollabierter Schneebrücken. Die Aufnahme von Lawinenschnee in die Murgänge führte zu einer erhöhten Wasserverfügbarkeit in der Murgangmasse. Leicht mobilisierbarer Schutt mit einem genügend hohen Feinmaterialanteil war in den Chalberspissibächen aufgrund der zahlreichen Sturzereignisse aus der Rutschung Spitze Stei seit der letzten Murgangsaaison reichlich vorhanden.

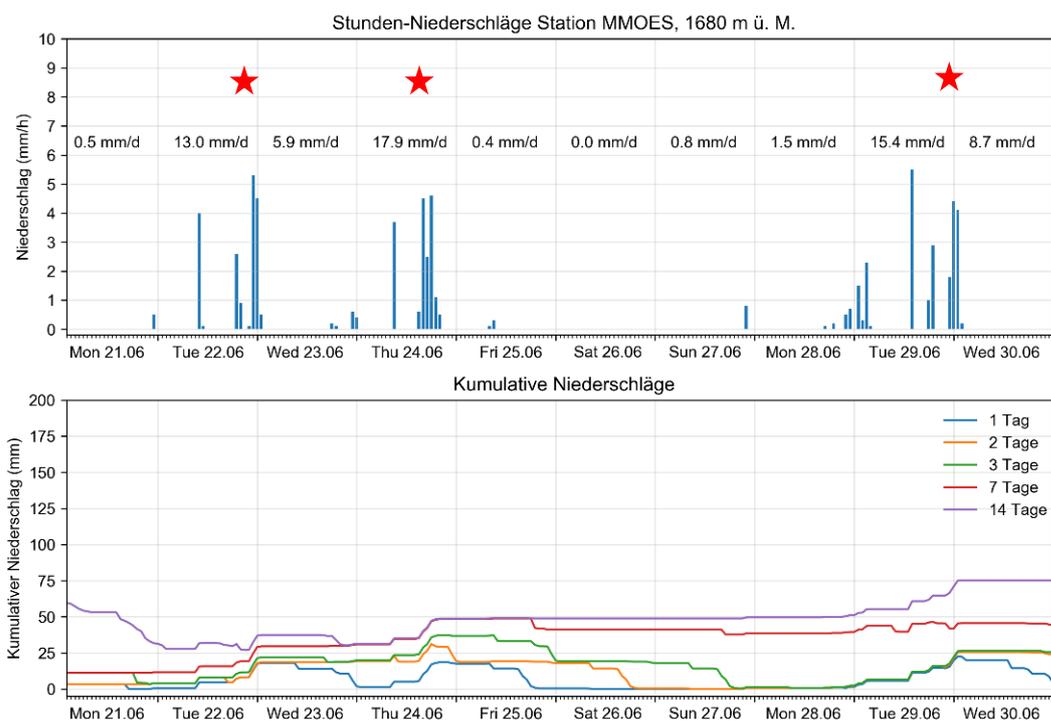


Abbildung 19: Oben: Zwischen dem 21. und dem 30. Juni 2021 an der Wetterstation Öschinensee gemessene Stundenniederschläge. Tagessummen sind annotiert. Unten: Kumulative Niederschläge über Perioden von einem Tag bis zwei Wochen. Murgänge gab es am 22.06, 24.06 und 29.06 schon bei geringen Niederschlagsmengen bzw. Vorfeuchten. Die Zeitperioden mit Murgängen sind mit roten Sternen markiert.

In der niederschlagsreichen Periode Ende Juli bis Mitte August kam es nicht mehr zu nennenswerten Murgängen, was u.a. auf den fehlenden Lawinenschnee in den Gräben zurückzuführen sein könnte. Möglicherweise wurde durch die Murgänge

des Frühsommers auch ein Grossteil des besonders murganganfälligen Substrates aus den Gräben evakuiert.

Im Vergleich zum Vorjahr (zwei dokumentierte Murgänge mit Kubaturen von rund 20'000 m³) gab es während der Saison 2020 – 2021 mehr Murgänge, jedoch mit eher kleineren Kubaturen. Detailliertere Informationen und Analysen zur Murgangssituation Öschibach 2021 finden sich in einem separaten Bericht, welcher bis Ende Jahr erstellt wird.

4.2 Gefahrenbeurteilung und getroffene Massnahmen

In Folge der saisonal bedingten Beschleunigung der Schuttrutschung wurde die Gefahrenstufe am 04. Juni von Stufe 2 «mässig» auf Stufe 3 «erheblich» erhöht, jene des Öschibaches gleichentags von Stufe 1 «gering» auf Stufe 2 «mässig» (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2 für Definitionen). Zu diesem Zeitpunkt waren die gemessenen Bewegungsraten trotz fortschreitender Beschleunigung noch innerhalb der bereits früher beobachteten Bandbreite.

Nachdem die Bewegungsraten in der Schuttrutschung am 20. Juni aufgrund des starken Schmelzwassereintrages verbreitet neue Rekordwerte (grossflächig 5 bis 10 cm / Tag) erreicht hatten, wurde die Gefahrenstufe für Abbrüche aus der Schuttrutschung auf Stufe 4B «gross» erhöht. Die verfügbaren Überwachungsdaten wurden unter Einbezug der Wetterwarnungen der MeteoSchweiz («verbreitet sehr starke Gewitter») dahingehend interpretiert, dass Rutschungen bis einige 100'000 m³ innerhalb eines Tages möglich bis wahrscheinlich sind. Die Gefahrenstufe für Murgänge im Öschibach wurde ebenfalls auf Stufe 4 «gross» erhöht, in der Erwartung, dass Murgänge bis einige 10'000 m³ im Zusammenhang mit den Gewittern möglich sind. Bezüglich Massnahmen wurde der Gemeinde die Umsetzung der Sicherheitszone «klein» (für Abstürze bis 600'000 m³) empfohlen (Abbildung 1). Entsprechend wurde die Zufahrtsstrasse zum Öschinensee gesperrt und auch der Zugang zum Strandbereich beim Öschinensee eingeschränkt. Gesperrt wurde auch der Bergweg zur Doldenhornhütte über den Bärentritt und die Verbindung Zilfuri-Tirolerwehr-Bärentritt.

Die als möglich bis wahrscheinlich erachteten Stürze und Murgänge traten in der Folge nicht ein, u.a. weil die prognostizierten starken Gewitterniederschläge Kandersteg nicht trafen. Infolge der nach wie vor hohen Gewitterneigung, den weiter zunehmenden Bewegungsraten (insbesondere in der Westflanke und unterhalb des Blockgletschers) wurden die erhöhten Gefahrenstufen und die entsprechenden Massnahmen über die nachfolgenden Tage beibehalten. Fahrten zum Öschinensee waren mit Beobachtungsposten zeitweise möglich. Mit Ausnahme der oben

dokumentierten Murgänge vom 22. und 24. Juni kam es nicht zu grösseren Ereignissen. Die prognostizierten starken Gewitterniederschläge, welche bei den Beurteilungen jeweils berücksichtigt wurden, trafen Kandersteg wiederholt nicht bzw. nicht mit der prognostizierten Intensität.

Nach zwischenzeitlich trockeneren Bedingungen und leichten Abnahmen der Bewegungsraten auf sehr hohem Niveau wurde die Gefahrenstufe für die Schuttrutschung am 26. Juni auf Stufe 4A reduziert und bis am 05. Juli beibehalten. Abstürze aus den stark beschleunigten Bereichen blieben weitgehend aus. Die Gefahrenstufe für den Öschibach variierte in dieser Periode zwischen «mässig» und «erheblich», weitgehend abhängig von der Niederschlagsituation. Am 29./30. Juli kam es zu Murgängen im Gerinne.

Ab dem 05. Juli wurde die Gefahrenstufe der Schuttrutschung mit der vorübergehenden wetter- und bewegungsmässigen Entspannung auf Stufe 3, «erheblich», reduziert. Die Sicherheitszone «klein» wurde in Absprache mit der Gemeinde beibehalten, da die nächste niederschlagsreiche Periode bereits prognostiziert war. Am 08. Juli traten diese ergiebigen Niederschläge wie prognostiziert ein und führten zu einer Erhöhung der Gefahrenstufe zunächst auf 4A (08. Juli) und 4B (09./10. Juli). Im östlichen Bereich unterhalb des Blockgletschers wurden am 09. Juli mittels Radar Bewegungsraten um 40 cm / Tag gemessen, zu grösseren Abstürzen kam es jedoch nicht. In der Westflanke erreichten die Bewegungsraten in der Periode 25 cm / Tag, die beobachteten Abstürze während der Periode blieben jedoch auch hier volumenmässig klein. Die Gefahrenstufe für Murgänge lag bei «erheblich», am 08./09. Juli wurden im Gerinne Murgänge dokumentiert.

Mit der Wetterberuhigung und der entsprechenden Bewegungsabnahme in den kritischen Bereichen wurde die Gefahrenstufe für die Schuttrutschung am 11. Juli auf Stufe 4A reduziert und bis am 11. August beibehalten, mit einer vorübergehenden Reduzierung auf Stufe 3 zwischen dem 27. Juli und dem 02. August. Nach Absprache mit der Gemeinde wurde die Sicherheitszone «klein» während dieser ruhigeren Periode beibehalten, da nach wie vor keine stabile Wetterlage mit einer nachhaltigen Beruhigung in Sicht war, welche den beträchtlichen Aufwand für eine Anpassung der Sicherheitszone (Anpassen Abschränkungen, Signalisation etc.) gerechtfertigt hätte.

Am 11. August wurde die Gefahrenstufe der Schuttrutschung mit dem Einsetzen einer stabilen Hochdruckphase auf Stufe 3 reduziert und die Gefahrenzone «klein» aufgehoben. Als Folge der zeitweise als kritisch eingeschätzten Murganggefährdung blieb die Skibrücke am Rand der permanenten Sperrzone für Fussgänger weiterhin gesperrt. Mit der Installation eines automatischen Pegel-Warnsystems im

Gerinne der Chalberspissibäche entfiel die Anforderung bzgl. Beobachtungsposten Mitte August für die Bewohner / Bewirtschafter des Gebiets Oeschinen.

Für die oben beschriebene kritische Phase lässt sich zusammenfassend festhalten:

- die zeitweise als möglich bis wahrscheinlich eingestuften grossen Sturzereignisse von mehreren 100'000 m³ traten nicht ein; grosse Murgänge von mehreren 10'000 m³ ereigneten sich ebenfalls nicht.
- die den Beurteilungen zu Grunde liegenden Niederschlagsprognosen waren gerade zu Beginn der Periode oft zu pessimistisch (Gewitterzellen trafen Kandersteg oft nicht bzw. nicht direkt), was eine Diskrepanz zwischen Gefahrenstufen und tatsächlich eingetroffenen Ereignissen begünstigte.
- die sehr hohen Geschwindigkeiten (neue Rekordgeschwindigkeiten im Falle der Zeitreihen in der Westflanke und im Ostbereich, kaum Erfahrungswerte aus anderen Rutschungen mit ähnlich hohen Bewegungsraten) erforderte eine konservative Einschätzung der Lage, gerade zu Beginn der kritischen Phase.
- zunehmende Erfahrungswerte gegen Ende der kritischen Phase erleichterten das Einschätzen der Lage. Als Folge davon fielen die Beurteilungen gegen Ende der kritischen Periode tendenziell weniger konservativ aus als noch zu Beginn.

5. Beruhigungsphase

5.1 Beobachtungen / Messungen

5.1.1 Rutschung Spitze Stei

Ab Mitte August kam es mit dem Einsetzen einer längeren trockenen Phase zu einem graduellen Rückgang der Bewegungsraten, sowohl in der Schuttrutschung als auch in den restlichen Bereichen der Rutschung. Nennenswert sind die spontanen Beschleunigungen von rund 10 cm im Zentrumsbereich, welche am 27. August auftraten. Ähnliche spontane Beschleunigungen traten bereits in den Vorjahren auf und wurden als Spannungsumlagerungen zwischen dem sehr schnellen Schuttbereich der Schuttrutschung und dem langsameren Schuttbereich im Osten der Rutschung interpretiert [2].

Mittels weiterer Drohnenaufnahmen konnten die Absturzkubaturen für die Zeitabschnitte 13.08.2021 – 08.09.2021 (Abbildung 20) sowie 08.09.2021 – 01.10.2021 (Abbildung 21) genau quantifiziert werden. Am 23.08.2021 kam es im östlichen Bereich der Rutschung zu einem Absturz von knapp 3000 m³ Felsmaterial aus einem stark zerrütteten und rasch bewegenden Kompartiment (Abbildung 20). Am 02.09. kam es zu einem Absturz eines Grossblockes (ca. 1600 m³) aus dem Zentrumsbereich. Während der Periode 13.08.2021 – 08.09.2021 (Abbildung 20) blieben Abstürze aus dem Frontbereich der Schuttrutschung ausschliesslich sehr klein (sehr kleine rötliche Flächen in Abbildung 20), was u.a. auf die verminderte Rutschaktivität zurückzuführen sein dürfte.

Im Frontbereich der Schuttrutschung kam es erst in der Nacht vom 23. auf den 24. September 2021 zu einem grösseren Absturz. Bei dem Ereignis wurden rund 11'000 m³ Material mobilisiert, wovon gut 6000 m³ direkt unterhalb der Rutschung abgelagert wurden und der Rest in die Chalberspissibäche gelangte (Abbildung 21). Der Absturz des Paketes kündigte sich in den Radardaten mit Spitzengeschwindigkeiten von bis zu 50 cm / Tag an (Abbildung 22). In der Periode 08.09.2021 – 01.10.2021 kam es weiter zu mehreren Stürzen in der Grössenordnung einiger 100 m³, z.B. am 26. September 2021 aus dem Gipfelbereich. Diese Abstürze sind Zeichen einer unvermindert hohen Aktivität im Rutschgebiet.

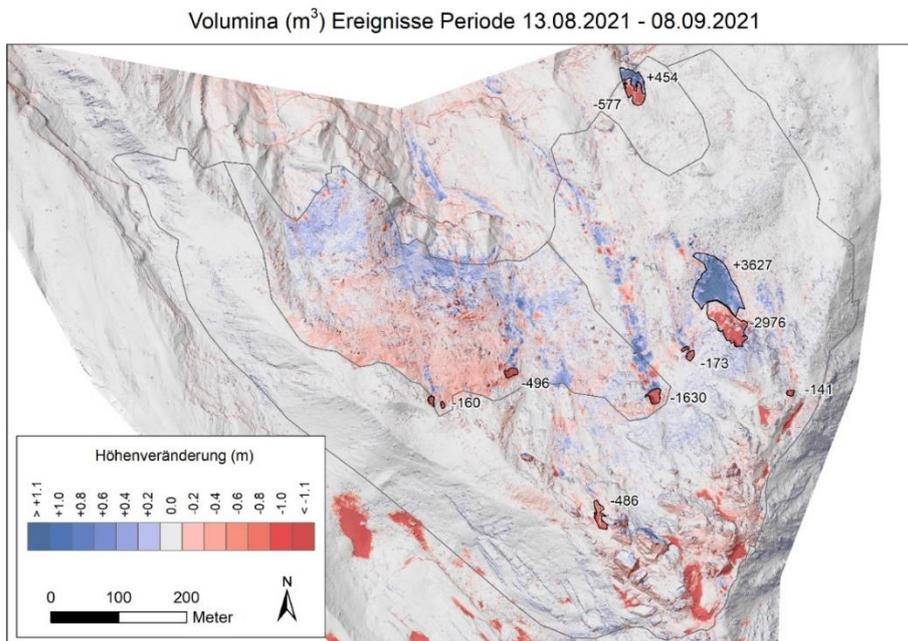


Abbildung 20: Höhenveränderungen Rutschung Spitze Stei über die 26-Tage Periode 13. August 2021 bis 08. September 2021. Vgl. Bildlegende in Abbildung 14 für zusätzliche Informationen.

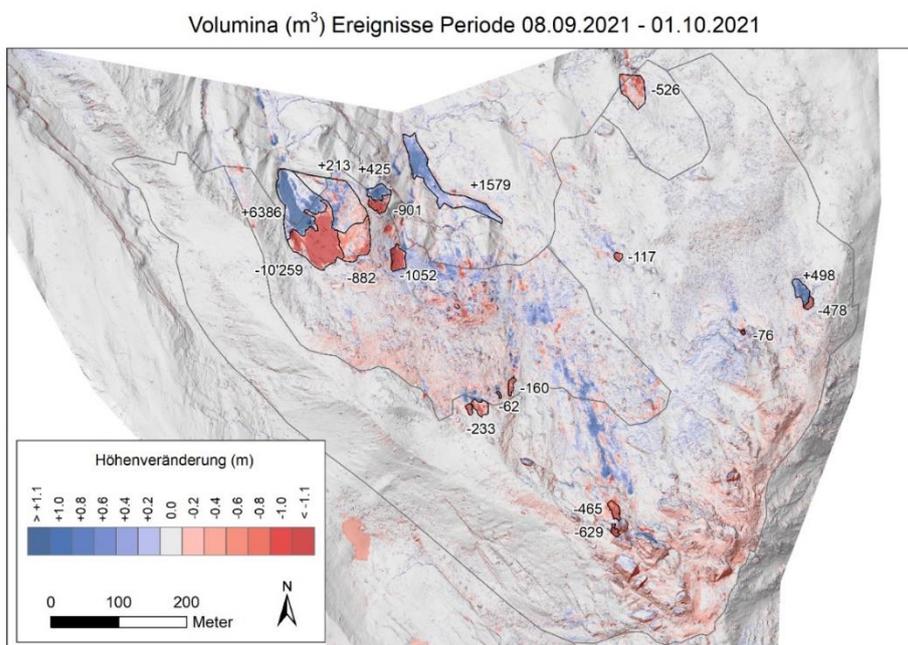


Abbildung 21: Höhenveränderungen Rutschung Spitze Stei über die 23-Tage Periode 08. September 2021 bis 01. Oktober 2021. In der Vergleichsperiode war der Schnee im Gipfelbereich weitgehend geschmolzen. Die Rottöne im Gipfelbereich entsprechen einer Absenkung des Rutschkörpers.

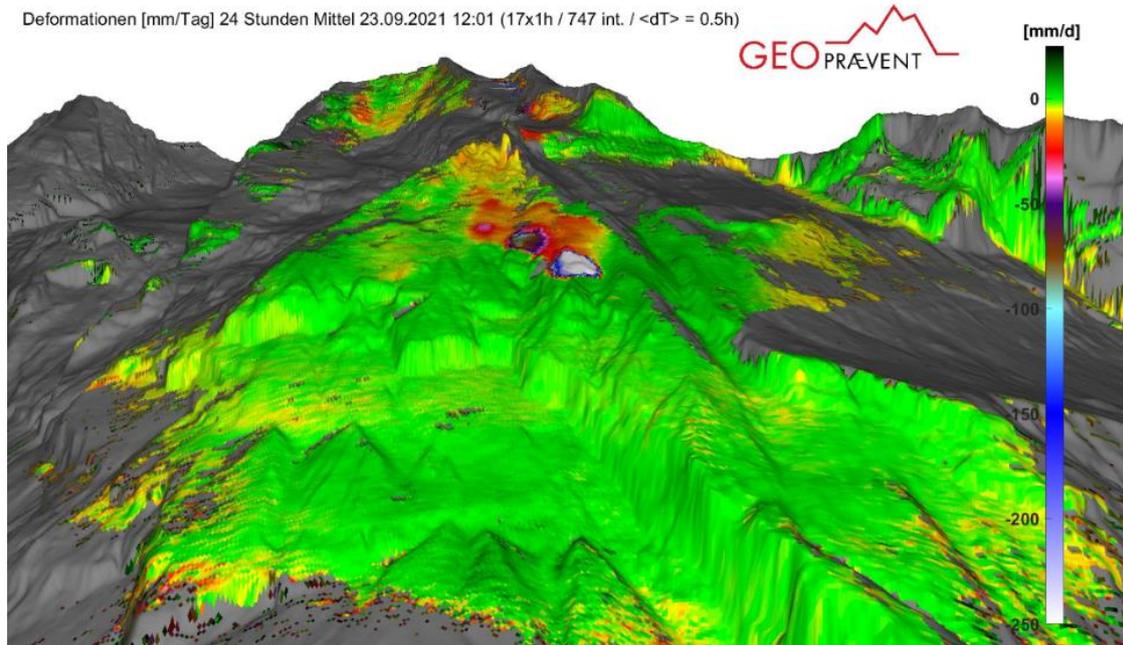


Abbildung 22: Am 23. September per Radar gemessene Bewegungsraten im Frontbereich der Schuttrutschung Westgrat. Die Bewegungsraten im weiss eingefärbten Bereich erreichten Werte von rund 50 cm / Tag in Sichtrichtung (LOS) des Radars. In der Nacht vom 23. zum 24. September kam es zu einem Absturz eines Teils der beschleunigten Masse (Kubatur ca. 11'000 m³).

Mit den hohen Bewegungsraten wurde viel Schuttmaterial zur Absturzkante unterhalb des Frontbereiches der Schuttrutschung geschoben. In der Folge reichten geringe Wassereinträge aus, um grössere Schuttkubaturen zu mobilisieren. So wurde der Absturz des Schuttpaketes vom 23. September bereits durch Wassereinträge ausgelöst, die ein Vielfaches geringer waren als die Wassereinträge im Frühsommer (vgl. Abbildung 16). Dies deutet auf eine zunehmend instabile Geometrie des Frontbereiches der Schuttrutschung hin. Der Vergleich eines Höhenmodelles vom Herbst 2020 mit einem Höhenmodell vom Herbst 2021 zeigt, dass es neben dem abgestürzten Kompartiment (rote Fläche mit Annotation 1 in Abbildung 23) noch ausgedehnte Frontbereiche gibt, in denen viel Schuttmaterial akkumuliert wurde (blaue Flächen, Annotation 2), ohne dass es per Herbst 2021 zu Abstürzen gekommen wäre. Es ist davon auszugehen, dass diese Bereiche mit dem Ausbleiben von Stürzen zunehmend instabil werden, was dann grössere Abstürze wahrscheinlich macht.

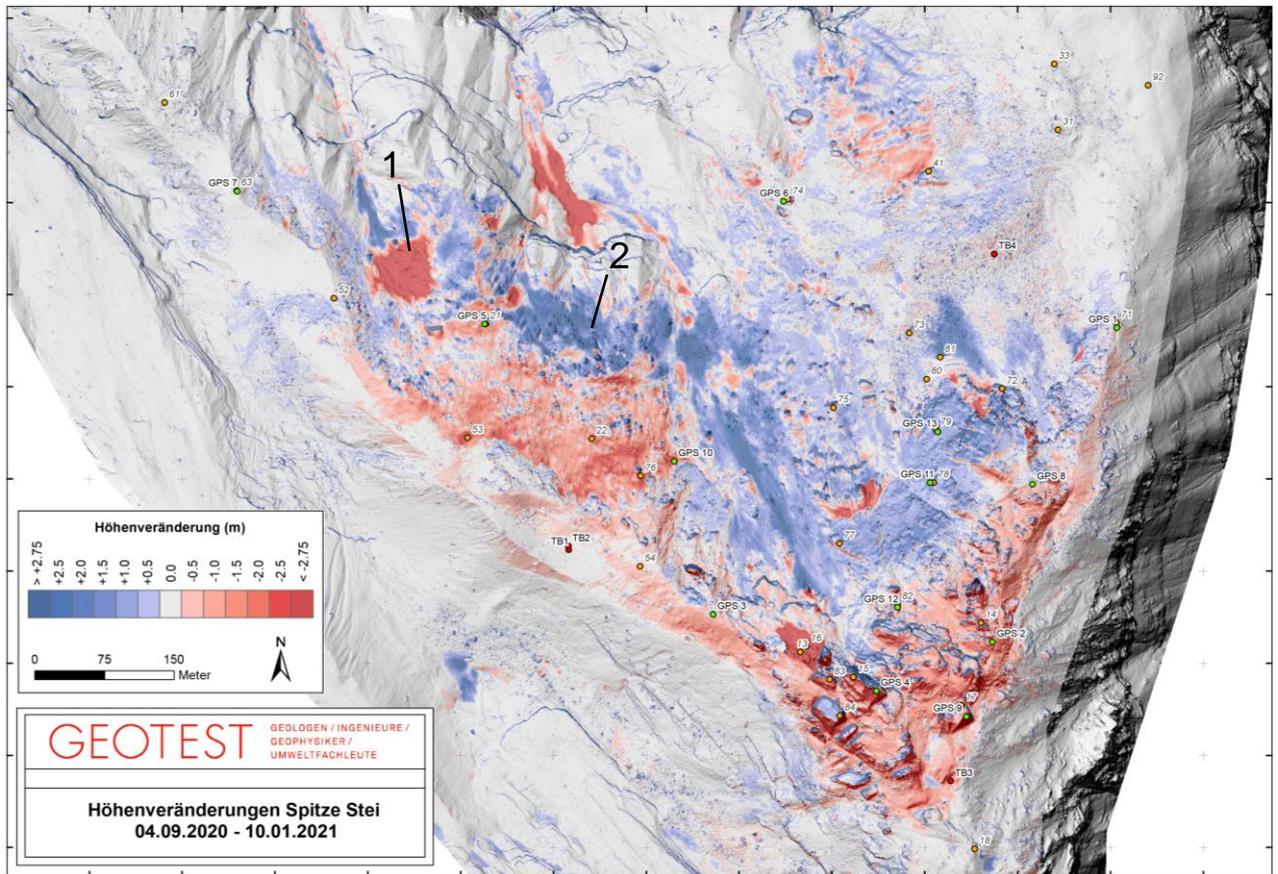


Abbildung 23: Höhenveränderungen Rutschung Spitze Stei 04. September 2020 bis 01. Oktober 2021. Vgl. Bildlegende Abbildung 14 für zusätzliche Informationen. Höhenveränderungen +25 cm sind grau eingefärbt. Im Frontbereich der Schuttrutschung dominieren blaue Farbtöne. In den entsprechenden Bereichen wurde mehr Material zur Absturzkante geschoben, als durch Rutschungen/Stürze ausgetragen worden ist. Die Rottöne im Gipfelbereich reflektieren die starke Absenkung des Rutschkörpers.

5.1.2 Chalberspissibäche / Öschibach

Die Lage in den Gerinnen blieb weitgehend ruhig. Nach dem Sturzereignis in der Nacht vom 23. zum 24. September kam es zu mehreren kleinen Murschüben und geschiebereichem Abfluss; teilweise auch ohne Niederschläge. Bezüglich Volumina und Reichweiten blieben die Murschübe deutlich hinter den Murschüben vom Frühsommer zurück. Das Material wurde weitgehend im Gerinnebereich oberhalb der Skibrücke abgelagert.

5.2 Gefahrenbeurteilung und getroffene Massnahmen

Bezüglich Gefahrenbeurteilung und Massnahmen ist primär die Periode vom 19. bis zum 23. September nennenswert. In dieser Periode kam es bei regnerischem Wetter zunächst zu kleineren Abbrüchen aus dem Frontbereich der Schuttrutschung. Auf bis zu 50 cm / Tag zunehmende Bewegungsrate im frontalen, westlichen Bereich der Schuttrutschung kündigten einen grösseren Absturz von Schuttmaterial an (Abbildung 22). Die Kubatur der beschleunigten Masse wurde auf knapp 100'000 m³ geschätzt. Bezüglich Absturzkubaturen wurde von maximal 100'000 m³ ausgegangen, womit die Gefahrenstufe für die Schuttrutschung auf «erheblich» verblieb und die Sperrzone nicht vergrössert wurde – dies trotz Rekordgeschwindigkeiten. Im Vergleich zum Frühsommer war die Beurteilung damit weniger konservativ, dies aufgrund der generell geringeren Geschwindigkeiten im Restbereich der Schuttrutschung und nicht zuletzt unter Einbezug der zwischenzeitlich zusätzlich erhobenen Daten und gesammelten Erfahrungswerte.

In der Nacht vom 23. auf den 24. September stürzte der westliche Teil der beschleunigten Masse ab, während sich der Rest der Masse in der Folge rasch verlangsamte. Initiale Schätzungen zur Kubatur der abgestürzten Masse reichten von 10'000 bis 30'000 m³. Die mittels Höhenmodellvergleichen gemessene Kubatur beträgt rund 11'000 m³ (Abbildung 21). Diesbezüglich ist anzumerken, dass die berechnete Kubatur die tatsächliche Sturzkubatur unterschätzt, da der Effekt der generellen Schubbewegung der Rutschung (ein Volumenzuwachs) zwischen dem 08. September und dem 01. Oktober (Daten der verglichenen Höhenmodelle) in den Differenzrechnungen mitberücksichtigt ist. Die korrekte Kubatur der abgestürzten Masse dürfte damit in der Grössenordnung von 13'000 bis 14'000 m³ liegen. Auswertungen der Höhenmodelldaten und Fotos deuten weiter darauf hin, dass das Volumen der beschleunigten Masse (100'000 m³) bei den Beurteilungen tendenziell überschätzt wurde. Bei den Berechnungen der Kubaturen wurde konservativ von einer Mächtigkeit von ca. 8 m ausgegangen, in der Realität dürfte die Schuttrutschung im unteren Bereich geringmächtiger sein.

6. Abschliessende Bemerkungen

Während der Saison 2021 wurden in der Rutschung Spitze Stei sehr hohe Bewegungsraten gemessen. Die beobachtete Entwicklung wurde von der Witterung (schneereicher Winter mit einer späten, aber intensiven Schneeschmelze, gefolgt von einer regnerischen Periode) begünstigt. Gerade in jenen Teilbereichen der Rutschung, in welchen dieses Jahr wieder neue Rekordgeschwindigkeiten auftraten, dürfte auch der fortschreitende Trend zur Destabilisierung eine wichtige Rolle gespielt haben.

Die Sturzaktivität blieb unter den Erwartungen. Die erhobenen Messdaten bestätigen jedoch, dass damit die Wahrscheinlichkeit von Stürzen nicht generell geringer, sondern stattdessen zeitlich verschoben wird. So wurde die Schuttmasse in Bereichen ohne grössere Abbrüche mehrere Meter zur Abbruchkante oberhalb der Chalberspissibäche geschoben. Mit dem Ausbleiben ausgleichender kleiner Abstürze nimmt die Wahrscheinlichkeit von einzelnen, dafür grösseren Abstürzen zu. Neben der Schuttrutschung trifft diese Einschätzung auch für die restlichen Bereiche der Rutschung zu.

Die Murgangaktivität in den Chalberspissibächen und dem Öschibach war insbesondere im Frühsommer hoch. Die Murgangkubaturen waren zeitweise kleiner als erwartet, was u.a. der geringeren Sturzaktivität geschuldet sein dürfte.

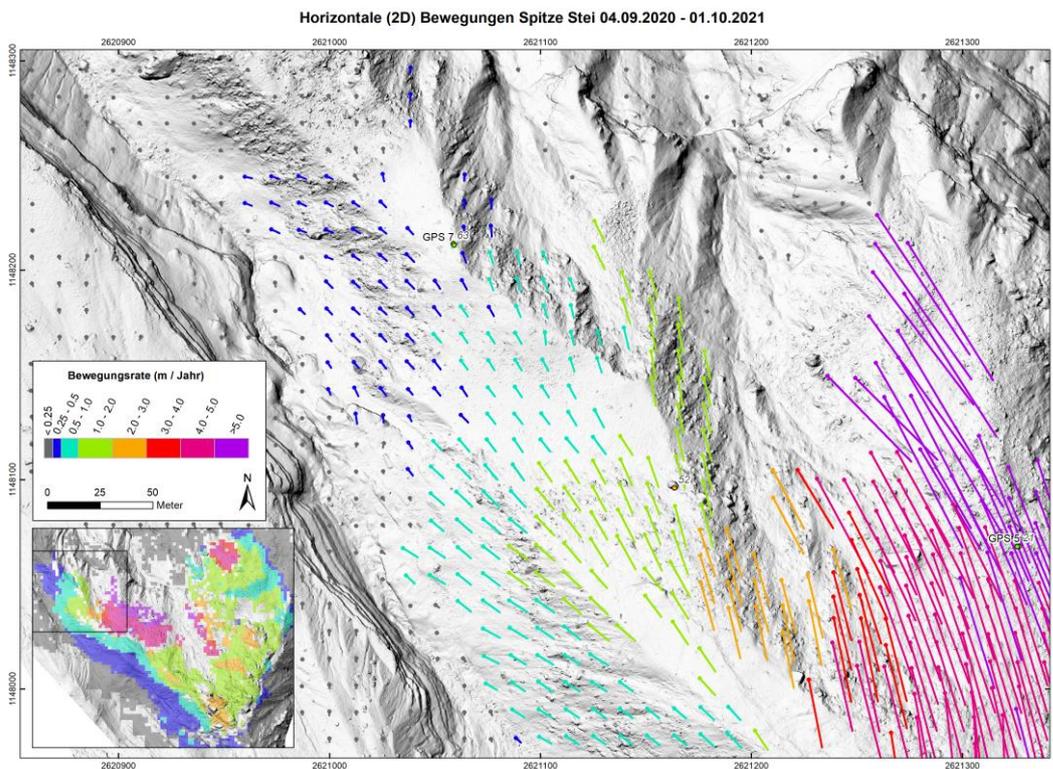
Während der Saison 2021 konnten diverse neue Erfahrungswerte und Datensätze gesammelt werden, z.B. zu den Sturzkubaturen. Diese neuen Daten werden in Zukunft bei der Eichung der laufenden Gefahrenbeurteilung miteinbezogen. Diesbezüglich gilt es zu berücksichtigen, dass Erfahrungswerte in einem transienten System, in dem laufend neue Rekordgeschwindigkeiten erreicht werden, nur bedingt 1:1 zu berücksichtigen sind. Unter diesen Umständen bleibt eine möglichst richtige, aber doch konservative Gefahrenbeurteilung auch in Zukunft nötig, um eine Unterschätzung der Gefährdung zu vermeiden.

7. Quellen

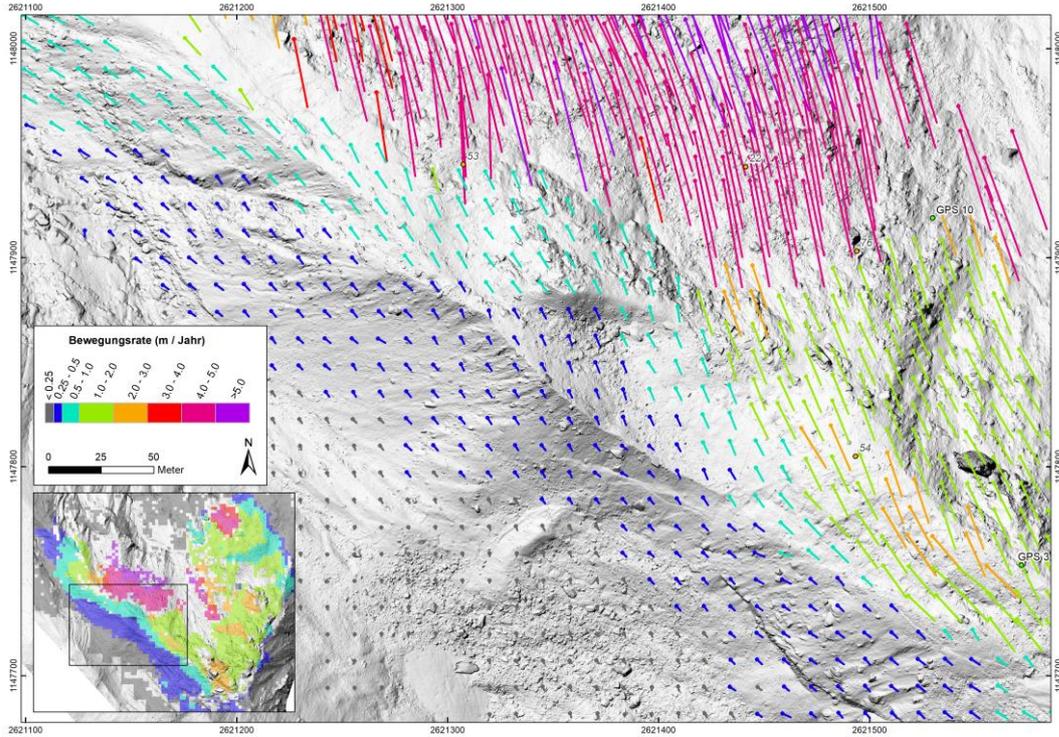
- [1] GEOTEST AG (2020): Kandersteg, «Spitze Stei», Auswertung historische Orthophotos, Bericht Nr. 1418139.11.
- [2] GEOTEST AG (2020): Kandersteg, «Spitze Stei», Gefahrenmanagement 2020, Datenerhebungen und Auswertungen 2020, Bericht Nr. 1418139.12.
- [3] KAWA, Abt. Naturgefahren (2020): Einflussfaktoren auf Bewegungsraten 2020.
- [4] GEOTEST AG (2021): Kandersteg, «Spitze Stei», Modellierung oberflächlicher Wassereintrag, Bericht Nr. 1418139.20.
- [5] GEOTEST AG (2020): Kandersteg, «Spitze Stei», Sicherheitskonzept Gemeinde, Bericht Nr. 1418139.6.
- [6] GEOTEST AG (2020): Kandersteg, «Spitze Stei», Permafrostuntersuchungen, Bericht Nr. 1418139.9.
- [7] GEOTEST AG (2021): Kandersteg, «Öschibach», Dispositionsmodell Murgang – Ereignis- und Dispositionsanalyse 2020, Bericht Nr. 1420057.1.
- [8] CSD AG & SLF (2020): Zweitmeinung zu geologischem Modell, Szenarien und Wirkungsbereiche «Spitze Stei», Kandersteg, Bern. Bericht BR 09940.100.

Anhang 1 – Bewegungsfelder Herbst 2020 – Herbst 2021

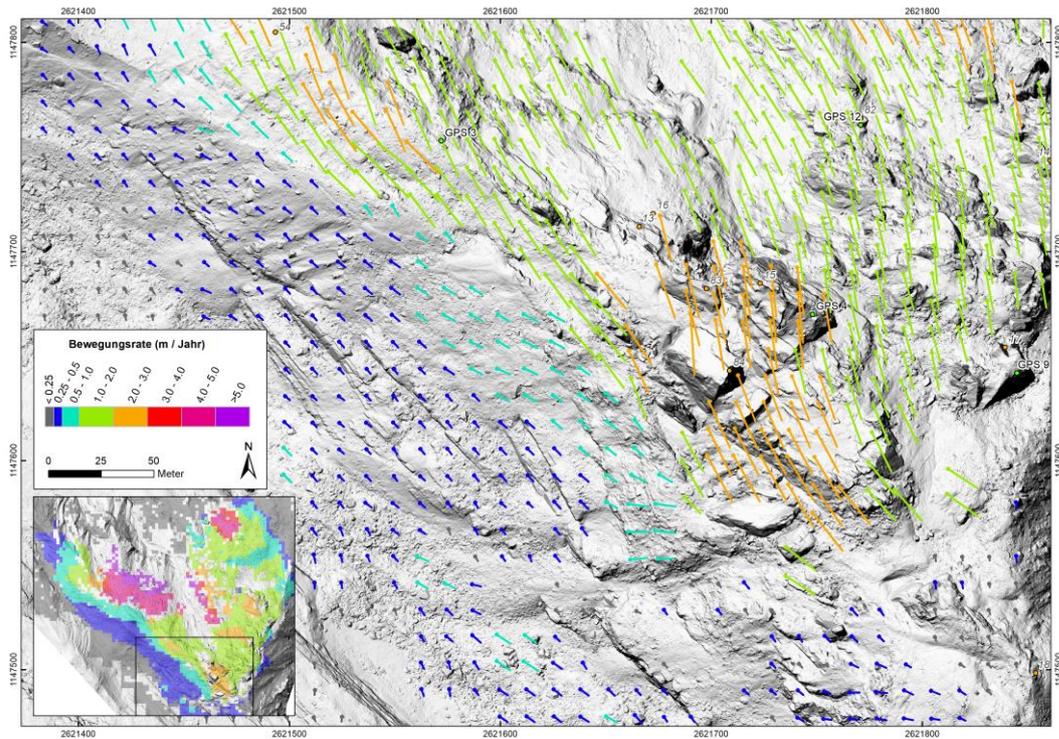
Die nachfolgend abgebildeten Bewegungsvektoren repräsentieren den Zeitraum 04.09.2020 bis 01.10.2021 und sind Grundlage der in Abbildung 2 gezeigten Bewegungsraten der Zeitperiode 2020 – 2021 (braune Säulen). Die per Feature-Tracking abgeleiteten Bewegungsvektoren sind 10-fach verlängert. Die Übersichtskarte zeigt das Bewegungsfeld der Gesamtrutschung sowie die Lage des vergrößerten Kartenausschnittes. In Bereichen ohne Vektoren bzw. ohne Einfärbung in der Übersichtskarte sind keine Messungen verfügbar. In diesen Bereichen war ein Tracking aufgrund der starken Geländeänderungen infolge Materialverlusten (Abstürze) bzw. -akkumulationen nicht möglich.



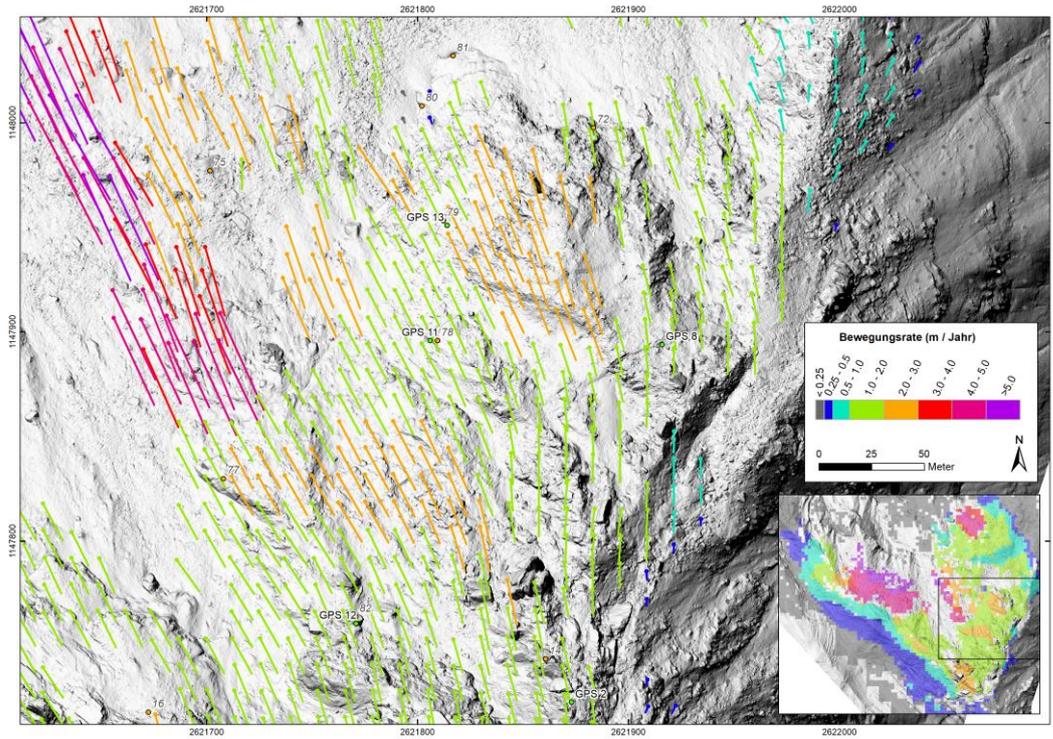
Horizontale (2D) Bewegungen Spitze Stei 04.09.2020 - 01.10.2021



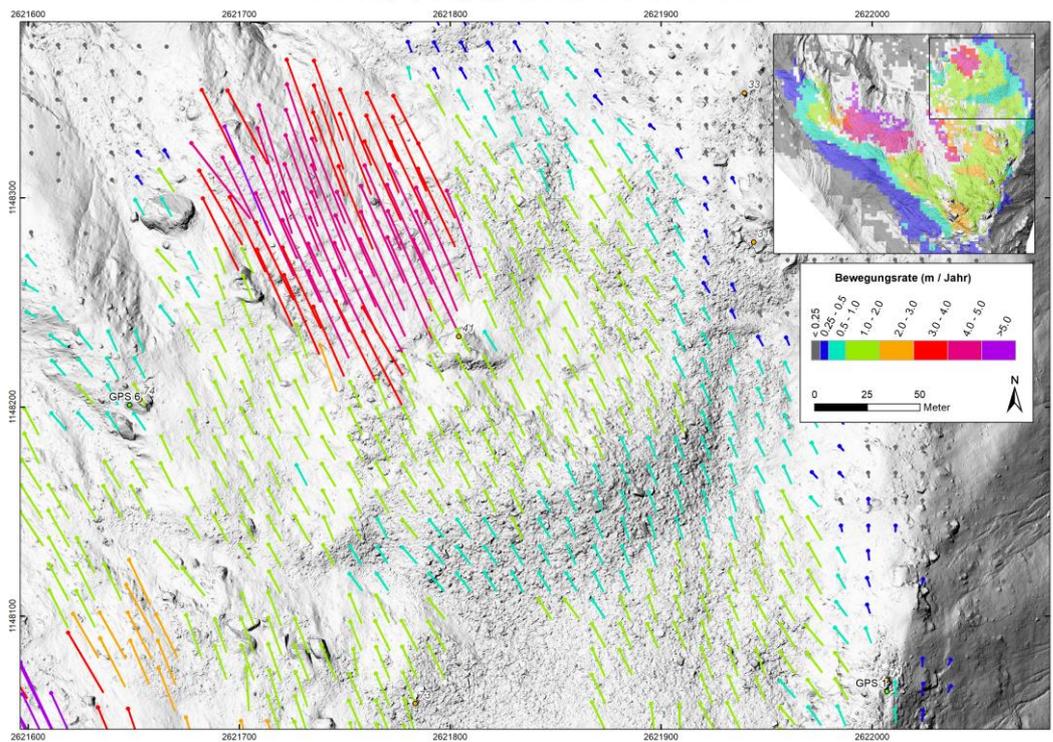
Horizontale (2D) Bewegungen Spitze Stei 04.09.2020 - 01.10.2021

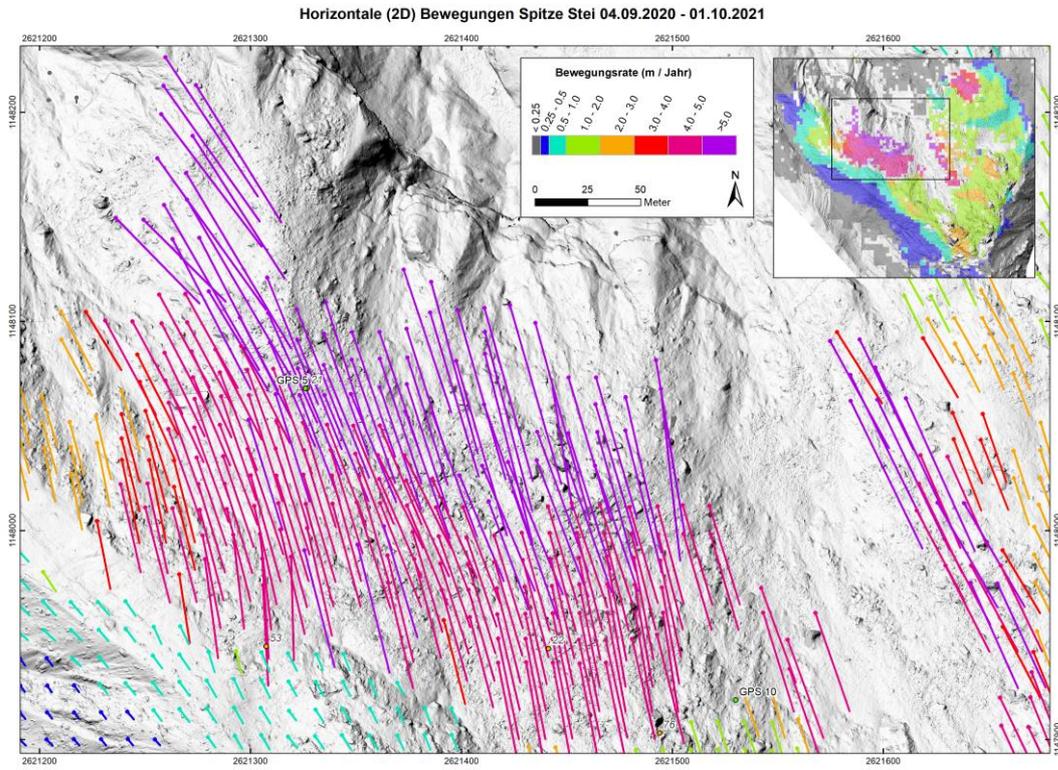


Horizontale (2D) Bewegungen Spitze Stei 04.09.2020 - 01.10.2021



Horizontale (2D) Bewegungen Spitze Stei 04.09.2020 - 01.10.2021





Anhang 2 – Übersicht GPS / Reflektoren Spitze Stei

