

---

**Bericht Nr. 14181391.26**

---

**Einwohnergemeinde Kandersteg**

**Kandersteg, "Spitze Stei"  
Gefahrenmanagement 2022**

**Geschiebebilanz Oeschibach / Chalberspissibäche 2021**

Zollikofen, 20. Januar 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

<b>Autor(en)</b>	<b>Bearbeitete Themen / Fachbereiche</b>
Christian Kienholz	Datenauswertung, Bericht
<b>Supervision</b>	<b>Visierte Inhalte</b>
Daniel Tobler	Gesamter Bericht
<b>Hinweise</b>	

GEOTEST AG



Daniel Tobler



Christian Kienholz

## Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage .....	4
2.	Einzugsgebiete Spitze Stei .....	6
2.1	EZG-Flächen und Höhenverteilungen .....	6
2.2	Gerinnegefälle.....	9
2.2.1	Längskoordinatensystem .....	9
2.2.2	Gefällsverhältnisse.....	10
3.	Geschiebebilanz.....	13
3.1	Daten.....	13
3.2	Methodik.....	14
3.3	Sensitivität / Unsicherheiten.....	14
3.4	Resultate .....	15
3.4.1	Übersicht 2013 – 2021 .....	15
3.4.2	Entwicklung 2013 – 2020.....	18
3.4.2.1	Chalberspissibäche (Zonen 5 – 8).....	18
3.4.2.2	Oberer Oeschibach (Zonen 3 und 4, Tirolerwehr bis Zusammenfluss Chalberspissibäche) .....	20
3.4.2.3	Unterer Oeschibach (Zonen 1 und 2, Geschiebeablagerungsplatz bis Tirolerwehr).....	20
3.4.3	Entwicklung 2020 – 2021 .....	21
3.4.3.1	Oeschibach .....	21
3.4.3.2	Spitze Stei .....	27
3.4.3.3	Gesamtbilanz .....	29
4.	Fazit und Ausblick .....	30
5.	Quellen.....	33
	Anhang 1 – Übersicht Zonen / Querprofile / Längskoordinaten.....	34
	Anhang 2 – Karten Höhenveränderungen / Geschiebebilanzen.....	40
	Anhang 3 – Interpretation Höhenveränderungen / Geschiebebilanzen.....	64
	Anhang 4 – Querprofile .....	74

## 1. Ausgangslage

Seit Frühling 2021 werden die Gerinne der Chalberspissibäche und des Oeschibaches mehrmals pro Saison mittels Drohne vermessen. Die engmaschigere Überwachung wurde aufgrund des zunehmenden Geschiebeeintrages aus der Rutschung Spitze Stei aufgenommen, welche in den letzten Jahren zu einer höheren Murgangaktivität führte [1]. Mit dem erwarteten, weiter ansteigenden Geschiebeeintrag ([2],[3],[4]) dürfte die Gerinneaktivität auch in Zukunft weiter zunehmen.

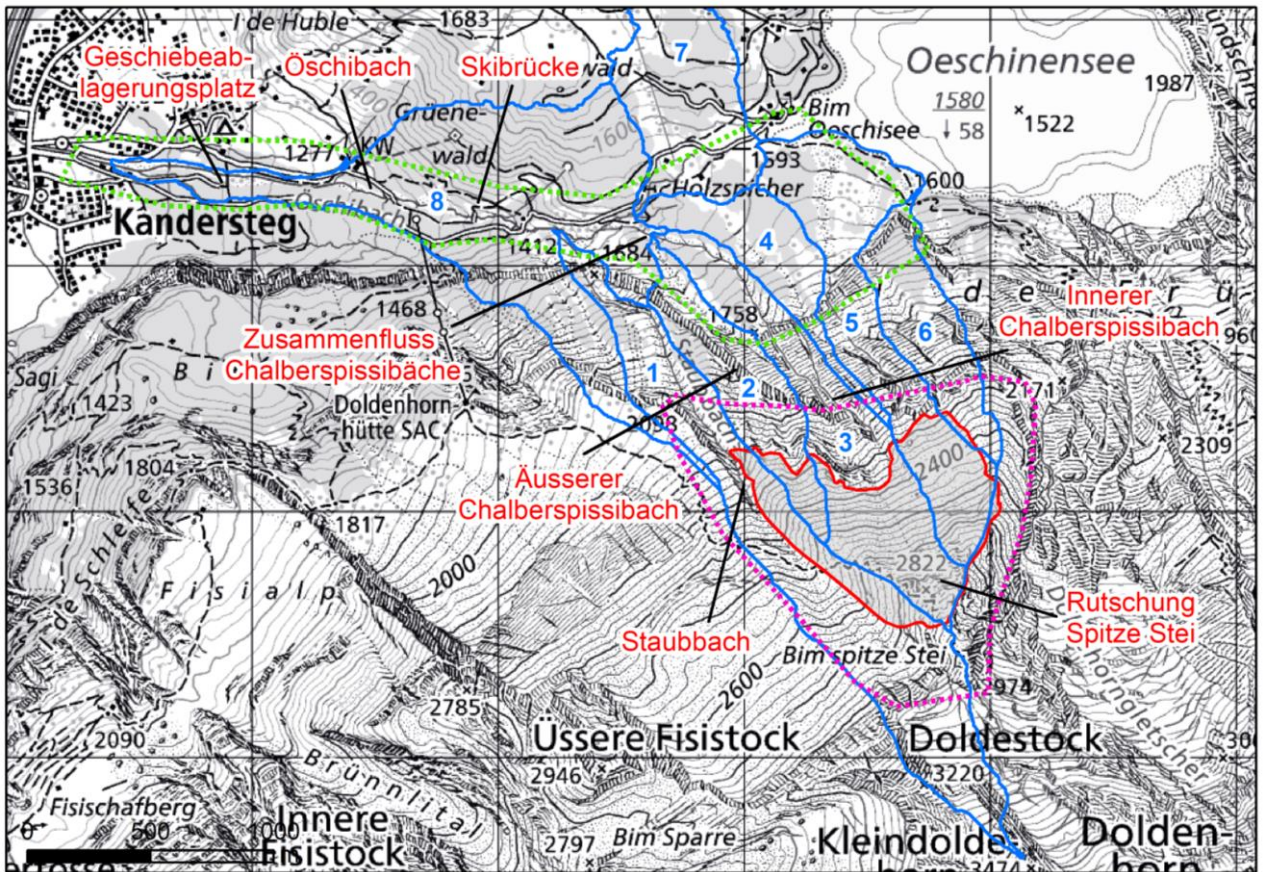


Abbildung 1: Übersichtskarte Spitze Stei / Oeschibach. Die rot umrandete Fläche umfasst den Perimeter der Rutschung Spitze Stei. Blau umrandete Flächen mit annotierten Nummern grenzen die Einzugsgebiete (EZG) der Gerinne aus dem Bereich Spitze Stei ab. Die grün gestrichelte Linie umfasst den Perimeter der Drohnenbefliegungen Oeschibach / Chalberspissibäche, die pink gestrichelte Linie jenen der Drohnenbefliegungen Spitze Stei. Im Bericht erwähnte Örtlichkeiten sind annotiert.



Der beflogene Perimeter reicht vom Geschiebeablagerungsplatz (GAP) bis in den Kegelbereich der Chalberspissibäche unterhalb der Rutschung Spitze Stei (grün gestrichelte Linie in Abbildung 1). Die aus den Luftbildern abgeleiteten Höhenmodelle und Orthophotos dienen der optischen Dokumentation des Gerinnezustandes, der Bestimmung von Höhenveränderungen zwischen einzelnen Befliegungen (Ausscheidung von Erosions- und Auflandungstrecken) sowie der Berechnung der Geschiebebilanzen. Mit den initiierten Arbeiten soll das Verständnis für das Wildbachsystem des Oeschibaches verbessert und die Planung der Bauarbeiten/Interventionen am Oeschibach unterstützt werden (z.B. Planung Geschiebeentnahmen).

Nachfolgend werden zunächst die Hauptgerinne und deren Einzugsgebiete aus dem Bereich Spitze Stei kurz charakterisiert. Die abgeleiteten Grössen (z.B. Gerinnegefälle) sind eine wichtige Grundlage für die Interpretation der Drohnenkarten, welche im zweiten Teil des Berichtes erfolgt.

## 2. Einzugsgebiete Spitze Stei

Das Einzugsgebiet (EZG) des Oeschibaches umfasst den Talkessel um den Oeschinensee mit einer Fläche von gut 30 km<sup>2</sup>, gemessen ab Höhe GAP. Von den 30 km<sup>2</sup> entwässern rund zwei Drittel (21.5 km<sup>2</sup>) indirekt via Oeschinensee, der restliche Drittel via diverse Gerinne in den Oeschibach. Nachfolgend wird der Fokus auf die Einzugsgebiete aus dem Bereich Spitze Stei gelegt (Abbildung 1), welche für den Geschiebeeintrag und die Murgangaktivität im Oeschibach besonders wichtig sind.

### 2.1 EZG-Flächen und Höhenverteilungen

Die Rutschung Spitze Stei gliedert sich in mehrere Teileinzugsgebiete mit einer Gesamtfläche von rund 2.5 km<sup>2</sup> (Abbildung 1, Tabelle 1). Die vier westlichen Einzugsgebiete (EZG 1 – 4) entwässern direkt in den Oeschibach, die zwei östlichen (EZG 5, 6) in Richtung Oeschinensee. Insgesamt werden über 95% des Rutschperimeters in NW-Richtung in die EZG 1 – 6 entwässert. Der untere periphere Bereich des Ostgrates entwässert in Richtung NE hin zu den Fründebächen und von dort in den Oeschinensee.

Der Staubbach (EZG 1) umfasst eine Fläche von 0.76 km<sup>2</sup>. Davon entfallen gut 0.11 km<sup>2</sup> auf den Perimeter der Rutschung Spitze Stei. Der entsprechende Bereich der Rutschung zeigt mit Bewegungsraten < 0.5 m/J eine vergleichsweise geringe Aktivität [4]. Der östlich anschliessende Äussere Chalberspissibach (EZG 2) hat eine Fläche von 0.27 km<sup>2</sup>, wovon rund 0.045 km<sup>2</sup> innerhalb des Perimeters der Rutschung Spitze Stei liegen. Der entsprechende Bereich der Rutschung zeigt eine sehr hohe Aktivität (Schuttrutschung Westflanke) mit Bewegungsraten von mehreren m/J und regelmässigen kleineren und grösseren Abstürzen ([4],[5]). Die Länge der Rutschfront beträgt rund 200 m.

Der Innere Chalberspissibach (EZG 3) hat eine Fläche von 0.49 km<sup>2</sup>, wovon 0.21 km<sup>2</sup> in den Bereich der Rutschung Spitze Stei fallen. Die Länge der Rutschfront beträgt rund 450 m. Neben der Schuttrutschung fällt auch die Felssackung im Gipfelbereich ins EZG des Inneren Chalberspissibaches. Beide Bereiche sind sehr aktiv mit Bewegungsraten in der Grössenordnung von mehreren m/J [4].

Das ebenfalls gegen den Oeschibach entwässernde EZG 4 hat eine Fläche von 0.2 km<sup>2</sup>, wobei der Rutschperimeter nicht erreicht wird (Abbildung 1, Tabelle 1).

Ein schmaler Streifen des betreffenden EZGs reicht bis in den Bereich der Felsplatten unterhalb der Rutschung; die Hauptfläche des EZGs liegt jedoch unterhalb des Kegelhalses.

EZG 5 (0.51 km<sup>2</sup>) und 6 (0.25 km<sup>2</sup>) entwässern in Richtung Oeschinensee. Rund 0.14 km<sup>2</sup> des EZG 5 fallen in den östlichen Perimeter der Rutschung Spitze Stei. EZG 6 erreicht den Rutschperimeter nur randlich (0.005 km<sup>2</sup>).

Tabelle 1: Kenngrößen der Einzugsgebiete im Bereich der Rutschung Spitze Stei.

EZG	Name	Gesamtfläche EZG (km <sup>2</sup> )	Fläche innerhalb Perimeter Rutschung (km <sup>2</sup> )	Aktivität Rutschung innerhalb EZG	Entwässerungsrichtung
1	Staubbach	0.760	0.107	Gering	Oeschibach
2	Üssere Chalber-spissibach	0.270	0.045	Sehr hoch	Oeschibach
3	Innere Chalber-spissibach	0.486	0.212	Sehr hoch	Oeschibach
4	-	0.212	-	-	Oeschibach
5	-	0.509	0.138	Mittel	Oeschinensee
6	-	0.240	0.005	Mittel	Oeschinensee
	<b>Total</b>	<b>2.477</b>	<b>0.507</b>		

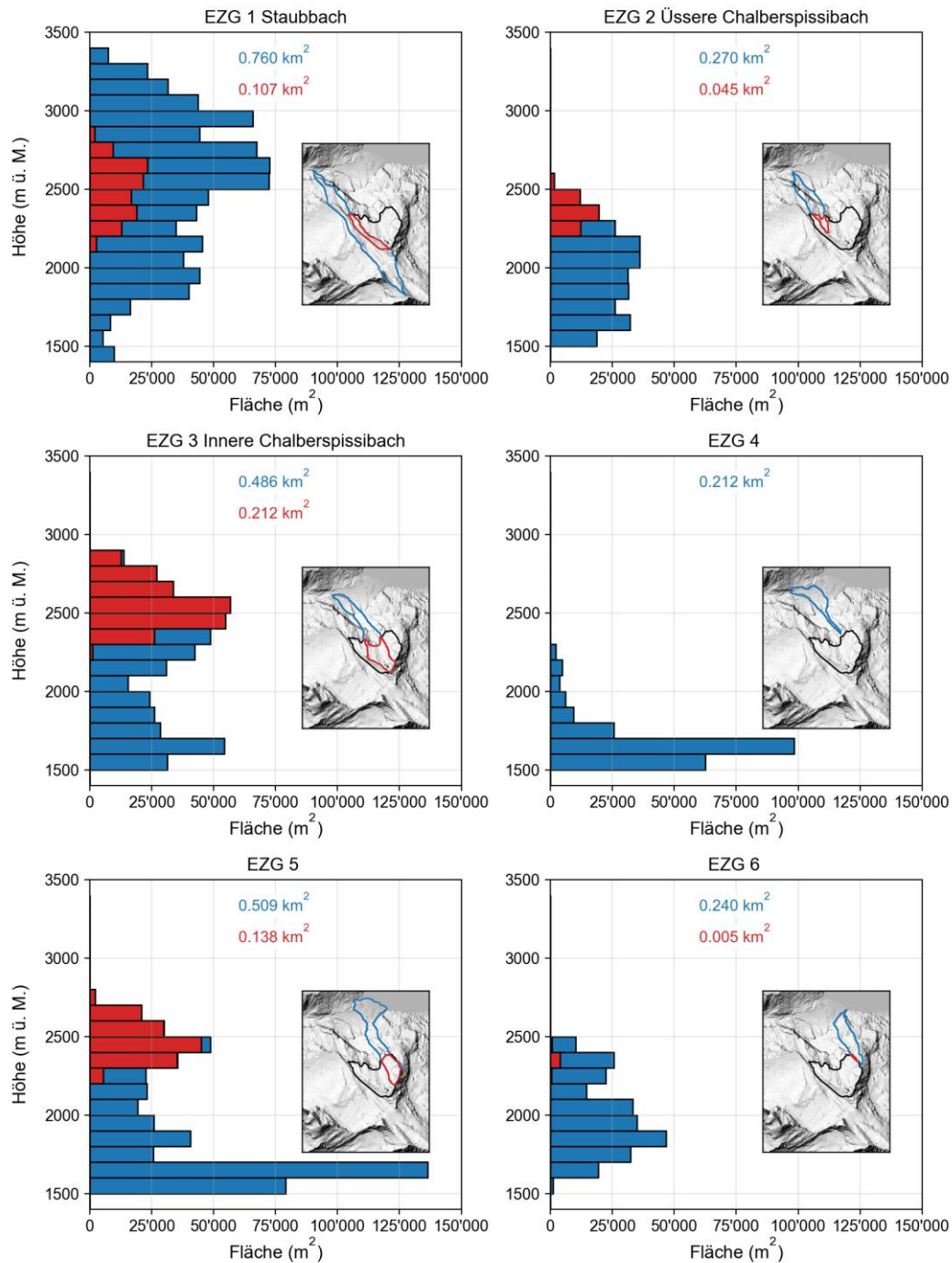


Abbildung 2: Hypsometrie der sechs Einzugsgebiete aus dem Bereich Spitze Stei, per 100 m Höhenstufen. Die Flächen der Einzugsgebiete sind mit blauen Säulen dargestellt und mit blauen Zahlen annotiert; jene der Teileinzugsgebiete innerhalb des Rutschperimeters mit roten Säulen / Zahlen.

Der Staubbach hat mit 0.76 km<sup>2</sup> das grösste Einzugsgebiet im Bereich Spitze Stei. Mit 3'400 m ü. M. reicht das Einzugsgebiet deutlich höher hinauf als die restlichen Einzugsgebiete (Abbildung 2) und erreicht damit den westlichen Ast des Doldenhorngletschers. Dessen Schmelzwasser trägt dazu bei, dass das Gerinne des Staubbaches auch nach Ausaperung der Schneedecke durchgehend Wasser führt, während die Gerinne der anderen EZG in niederschlagsarmen Phasen komplett austrocknen können.

Das Einzugsgebiet des Inneren Chalberspissibaches ist fast doppelt so gross wie das EZG des Äusseren Chalberspissibaches und reicht ca. 300 m höher hinauf (2600 vs. 2900 m ü. M.) bis in den Gipfelbereich der Rutschung Spitze Stei (Abbildung 2). Auch die EZG-Fläche innerhalb des Rutschperimeters ist grösser (um Faktor 4.7) und die Rutschfront länger (Faktor 2.3). Diese Vergleichszahlen decken sich mit der Beobachtung, dass der Innere Chalberspissibach generell mehr Wasser führt als der Äussere Chalberspissibach.

Aufgrund der besonderen Geometrie des EZG 4 (minimale Fläche oberhalb des Kegelhalses) ist hier die Gerinneaktivität geringer als in den benachbarten Chalberspissibächen und entsprechend auch die Gerinneeintiefung beim Kegelhals deutlich weniger ausgeprägt. Der typischerweise geringe oberflächliche Abfluss aus EZG 4 infiltriert rasch in den Schuttkörper des Bachkegels, womit das Gerinne in Richtung Holzspicher zunehmend verschwindet.

## **2.2 Gerinnegefälle**

### **2.2.1 Längskoordinatensystem**

Für die Auswertungen und generell zur präziseren Ansprache von Örtlichkeiten wurde entlang der Gerinne ein Längskoordinatensystem definiert, mit Nullpunkt beim GAP-Abschluss (vgl. Anhang 1 für Übersichtskarten). Der Ursprung des Staubbacherinnes unterhalb des Doldenhorngletschers befindet sich demnach bei Koordinate 4.3 km, die Ursprünge des Äusseren und des Inneren Chalberspissibaches bei den Koordinaten 3.7 bzw. 4.2 km in der Rutschung Spitze Stei. In den obersten Abschnitten treten die Gerinne morphologisch noch nicht klar zu Tage.



### 2.2.2 Gefällsverhältnisse

Abbildung 3 zeigt das Gerinnegefälle des Oeschibaches, der beiden Chalberspissibäche sowie des Staubbaches entlang der definierten Längskordinaten.

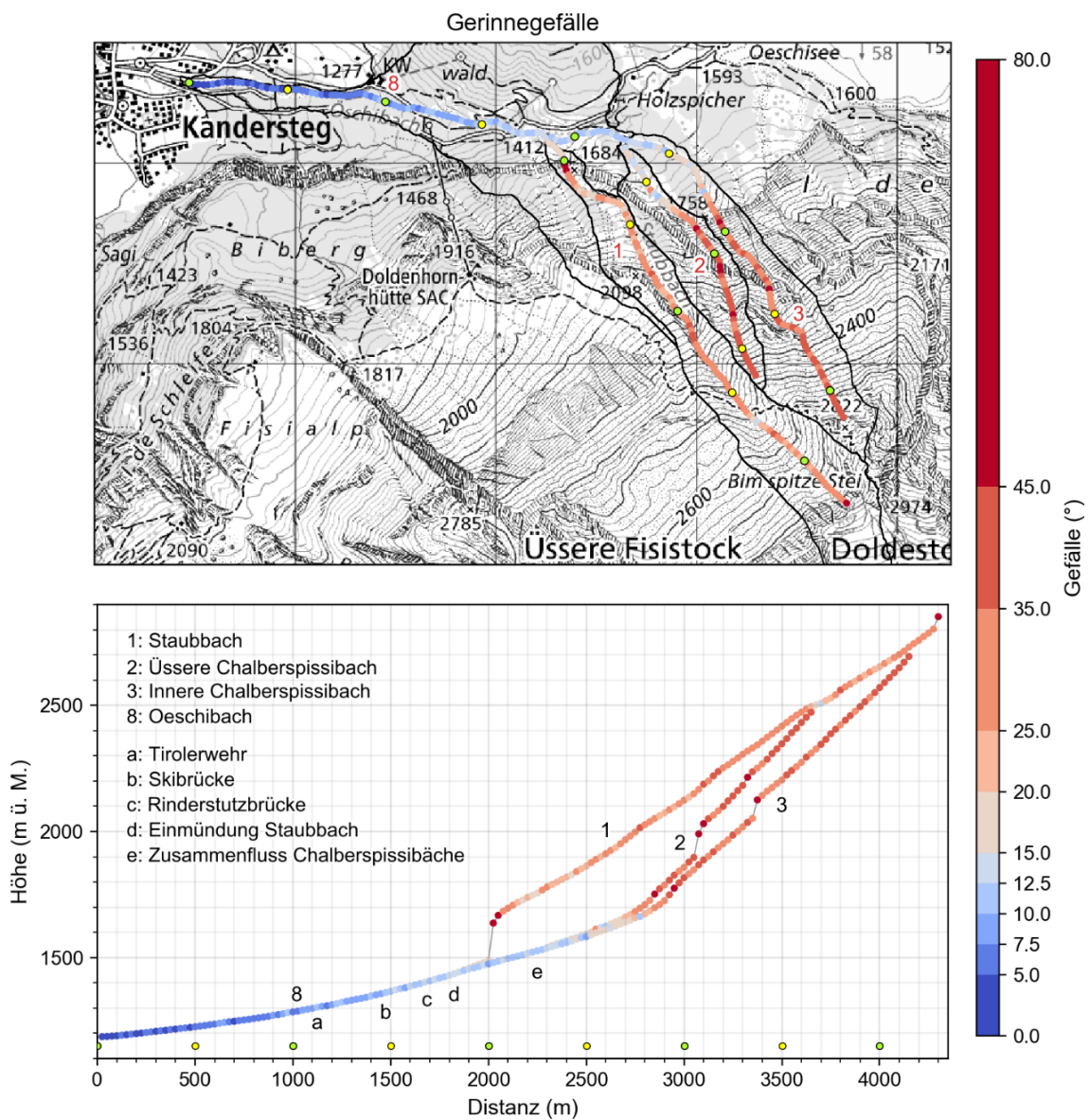


Abbildung 3: Gefälle berechnet für 25 m Gerinneabschnitte von Staubbach, der beiden Chalberspissibäche sowie des Oeschibaches. Gelbe bzw. grüne Punkte markieren 500 bzw. 1000 m Abschnitte entlang des definierten Längskordinatensystems. Der Nullpunkt des Koordinatensystems liegt beim GAP-Abschluss (Murgangnetz). Örtlichkeiten sind mit Buchstaben annotiert.

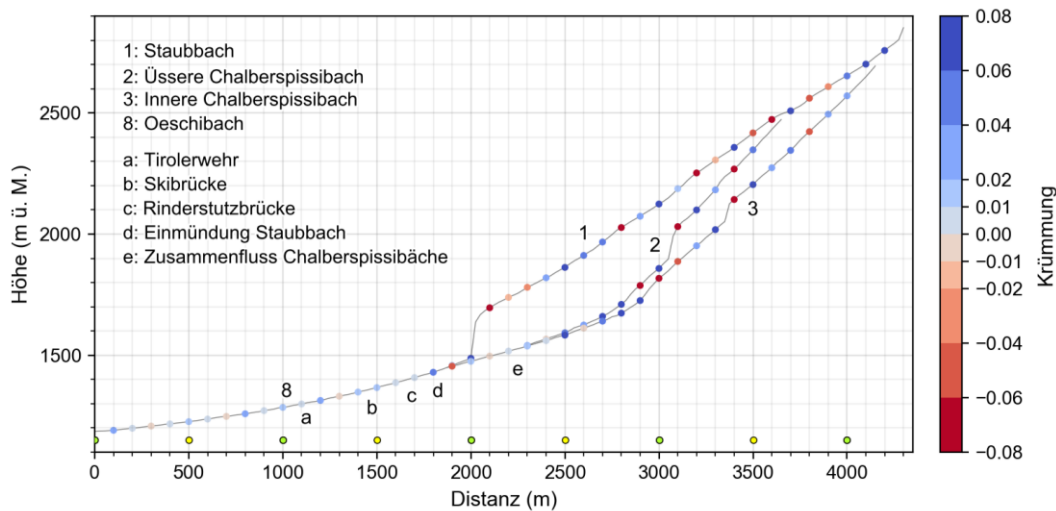


Abbildung 4: Analog Abbildung 3, jedoch mit Gerinnekrümmung anstelle Neigung. Positive Krümmungen (Blautöne) repräsentieren Gerinneabschnitte mit konvexer Form (Gerinneverflachung talauswärts), negative Krümmungen (Rottöne) Abschnitte mit konkaver Form (Gerinneversteilung talauswärts). Krümmungen wurden für 100 m Abschnitte berechnet.

Die Gerinnegefälle reichen von rund 5° im Bereich des GAPs bis zu 40° in den obersten Bereichen der Einzugsgebiete (Abbildung 3, Tabelle 2). Die obersten Abschnitte der beiden Chalberspissibäche (innerhalb des Rutschperimeters) sind gut 10° steiler als der oberste Bereich des Staubbaches, wobei das Gerinne des Äusseren Chalberspissibaches noch etwas steiler verläuft als jenes des Inneren Chalberspissibaches. Auffallend sind die homogenen Verläufe der Gerinnegefälle oberhalb der jeweiligen Felsabstürze, welche massgeblich der geologischen Prädisposition geschuldet sind (Einfluss Schichtgrenzen). Im Falle des Staubbaches verläuft die Gerinneneigung über eine Distanz von annähernd zwei Kilometer sehr homogen (Abbildung 3). Unterhalb der Felsabstürze verflachen die Gerinne rasch. Im Falle der Chalberspissibäche liegen die Gerinnegefälle in der oberen Hälfte des Bachkegels noch deutlich über 15°, in der unteren Hälfte zwischen 12 und 15° (Abbildung 3, Tabelle 2).

Im Falle des Oeschibaches nimmt die Gerinneneigung generell monoton ab. Während der Gerinneabschnitt des Oeschibaches ab Einmündung Staubbach (Längskordinate 1850 m) bis zur Skibrücke (1500 m) noch eine Neigung um 12° aufweist, liegt das Gefälle des darunterliegenden Gerinneabschnittes Skibrücke – Tirolerwehr (1100 m) bereits unter 10°. Der Geschiebeeintrag des Staubbaches führt zu einer vorübergehend stärkeren Gerinneabflachung oberhalb der Einmündung (bei Koordinate 1850 m), gefolgt von einer Versteilung unterhalb (Abbildung 3, Abbildung 4).

Tabelle 2: Übersicht Gefälle Gerinneteilabschnitte. Gefälleberechnungen wurden für 25 m Intervalle durchgeführt. Pro Abschnitt sind Median und Quartile der Verteilungen aufgelistet. Gerinnekoordinaten basieren auf dem definierten Längskoordinatensystem (Anhang 1).

EZG	Gerinnekoordinaten (m)	Gerinnegefälle (°)			Beschrieb Lokalität
		Median	1. Quartil	3. Quartil	
1 Staubbach	> 2100	26.8	23.9	29.8	Oberhalb Steilstufe – Zunge Dol-denhorngletscher
	1850 – 2000	16.5	16.0	17.0	Einmündung Staubbach – Fuss Steilstufe
2 Üssere Chalber-spissibach	> 3350	38.9	36.5	40.0	Bereich Rutschung
	2700 – 3350	36.8	31.0	39.8	Kegelhals – Ausbiss Rutschung (Bereich Felsplatten)
	2500 – 2700	18.4	14.0	19.5	Mitte Kegel bis Kegelhals
	2250 – 2500	15.0	13.7	15.5	Zusammenfluss Chalberspissibä- che bis Mitte Kegel
3 Innere Chalber-spissibach	> 3600	37.2	35.9	38.5	Bereich Rutschung
	2800 – 3600	33.2	31.1	36.9	Kegelhals – Ausbiss Rutschung (Bereich Felsplatten)
	2500 – 2800	15.6	14.9	16.5	Mitte Kegel bis Kegelhals
	2250 – 2500	12.7	11.7	13.5	Zusammenfluss Chalberspissibä- che bis Mitte Kegel
	2025 – 2250	11.8	11.0	12.3	Einmündung Oeschibach – Zu- sammenfluss Chalberspissibäche
8 Oeschibach	1850 – 2025	11.6	10.3	12.5	Einmündung Staubbach – Ein- mündung Oeschibach
	1500 – 1850	12.0	11.1	13.0	Skibrücke – Einmündung Staub- bach
	1100 – 1500	9.6	8.4	10.1	Tirolerwehr – Skibrücke
	450 – 1100	6.3	5.7	7.5	Verkehrsvereinsbrücke – Tiroler- wehr
	0 – 450	4.9	4.2	5.3	GAP-Abschluss – Verkehrsver- einsbrücke

### 3. Geschiebebilanz

#### 3.1 Daten

Für die Berechnung der Geschiebebilanzen stehen für die Periode vor 2021 drei flugzeuggestützte Laserscans zur Verfügung (2013, 2019, 2020, Tabelle 3). Das Höhenmodell von 2013 deckt den gesamten Gerinnebereich ab (Oeschibach und Chalberspissibäche), das Höhenmodell von 2019 den Oeschibach sowie jeweils den unteren Kegelbereich der Chalberspissibäche. Das Höhenmodell von 2020 umfasst nebst dem gesamten Gerinnebereich auch das Rutschgebiet Spitze Stei.

Bei der Drohnen-Erstbefliegung am 24. April 2021 wurde der untere Bereich des Oeschibachgerinnes befliegen (Einmündung Kander bis Höhe Skibrücke), bei den drei nachfolgenden Flügen am 28. Juni, 13. August und 24. Oktober der Bereich GAP bis Chalberspissi (grün gestrichelter Perimeter in Abbildung 1). Für die Abschätzung des Geschiebeaustrages aus dem Bereich Spitze Stei wurde auf eine Drohnenbefliegung des Rutschgebietes vom 1. Oktober 2021 zurückgegriffen (pink gestrichelter Perimeter in Abbildung 1).

Tabelle 3: Ausgewertete Höhenmodelle.

Datum	Typ	Perimeter
08.2013	Lidar	Gesamtgerinne
10.2019	Lidar	Gerinne ohne obere Chalberspissi
04.09.2020	Lidar	Gesamtgerinne, inkl. Spitze Stei
24.04.2021	Photogrammetrie	Einmündung Kander bis Skibrücke
28.06.2021	Photogrammetrie	GAP bis Chalberspissi
13.08.2021	Photogrammetrie	GAP bis Chalberspissi
01.10.2021	Photogrammetrie	Gesamte Rutschung Spitze Stei
24.10.2021	Photogrammetrie	GAP bis Chalberspissi

### 3.2 Methodik

Die Prozessierung der Drohnendaten wurde analog [6] vorgenommen. Die räumliche Auflösung der abgeleiteten Höhenmodelle liegt bei 10 cm (Orthophotos 5 cm), deren Genauigkeit (1 Standardabweichung) bei rund 5 cm horizontal und 10 cm vertikal. Die Genauigkeit der Laserscans ist mit jener der Drohnendaten vergleichbar.

Für die Auswertungen wurden acht Gerinnezonen definiert (Anhang 1). Vier Zonen (1 – 4) decken das Gerinne des Oeschibaches ab, je zwei Zonen (5 – 8) die Gerinne der beiden Chalberspissibäche. Für die Rutschung Spitze Stei wurden zwei weitere Zonen ausgeschieden, je eine im EZG des Äusseren Chalberspissibaches (Zone 9) und eine im EZG des Inneren Chalberspissibaches (Zone 10). Der Staubach ist aktuell nicht Teil der Auswertungen. Höhenveränderungen wurden zusätzlich entlang 23 Querprofilen bestimmt (vgl. Anhang 1 für Lage der Profile).

### 3.3 Sensitivität / Unsicherheiten

Eine Sensitivitätsanalyse (Verschiebung Höhenmodelle innerhalb der definierten Unsicherheiten, Anpassung Zonenpolygone) zeigt, dass die abgeleiteten Bilanzen pro Gerinnezone maximal um einige 100 m<sup>3</sup> von der tatsächlichen Bilanz abweichen sollten. In der Regel liegt die Unsicherheit der abgeleiteten Bilanzen damit in der Grössenordnung weniger Prozentpunkte. Bei den Unsicherheiten nicht berücksichtigt ist eine mögliche Auflockerung bzw. Verdichtung des Geschiebes während des Transits. Wir gehen davon aus, dass dieser Prozess die Bilanzen nicht systematisch verfälscht, da sich lokale Verdichtungen und Auflockerungen innerhalb der Zonen ausgleichen, analog zum Fehlerausgleich bei zufälligen Fehlern.

Im Rutschbereich (Zonen 9, 10) spielt die oben genannte Auflockerung eine deutlich wichtigere Rolle, da bei den Sturzprozessen vielfach Felsblöcke und -pfeiler zu Schutt zerfallen. Je nach gewähltem Auflockerungsfaktor variieren die berechneten Bilanzen um mehrere 1'000 m<sup>3</sup>, wobei es sich um systematische Differenzen handelt. Eine weitere Unsicherheit spezifisch für Zonen 9 und 10 ergibt sich aus der Tatsache, dass ein Massentransport über die seitlichen Zonengrenzen stattfindet,



dies infolge der nordwestlichen Bewegungsrichtung des Rutschkörpers<sup>1</sup>. Die entsprechenden Korrekturen wurden für den vorliegenden Bericht nur grob abgeschätzt, was zu grösseren Unsicherheiten führt.

Bei den Auswertungen ist schliesslich zu berücksichtigen, dass neben den natürlichen Umlagerungen im Gerinne umfangreiche Geschiebeentnahmen durch Baggerungen stattfanden. In den letzten Jahren fanden die Entnahmen primär in den untersten Zonen 1 und 2 (GAP bis Tirolerwehr) statt, in geringerer Masse auch in den Zonen 3 und 4, zum Schutz der dortigen Infrastruktur (u.a. Strasse, Skibrücke). In den Zonen 5 – 8 oberhalb des Zusammenflusses der beiden Chalberspissibäche wurde unseres Wissens nie maschinell interveniert.

### **3.4 Resultate**

Nachfolgend wird zuerst eine Übersicht zu den Massenbilanzen 2013 – 2021 gegeben (Kapitel 3.4.1). Danach wird die langjährige Entwicklung 2013 – 2020 näher beschrieben (Kapitel 3.4.2). In Kapitel 3.4.3 wird die Entwicklung über die Zeitperiode 2020 – 2021 analysiert, zunächst für den Oeschibach, dann für die Rutschung Spitze Stei und schliesslich zusammenfassend für das Gesamtsystem.

#### **3.4.1 Übersicht 2013 – 2021**

Abbildung 5 zeigt die Geschiebebilanzen der acht Gerinnezonen über den Zeitraum 2013 – 2019 – 2020 – 2021 als Karte, Abbildung 6 mittels Balkendiagrammen. Querprofile mit gesampelten Höhen aller Geländemodelle befinden sich in Anhang 4.

---

<sup>1</sup> Mit einer Integration der Höhenveränderungen über den gesamten Rutschperimeter (0.5 km<sup>2</sup>) könnte dieser zweite Unsicherheitsfaktor komplett eliminiert werden, eine Bestimmung der Schutteinträge in die Chalberspissibäche würde damit aber verunmöglicht.

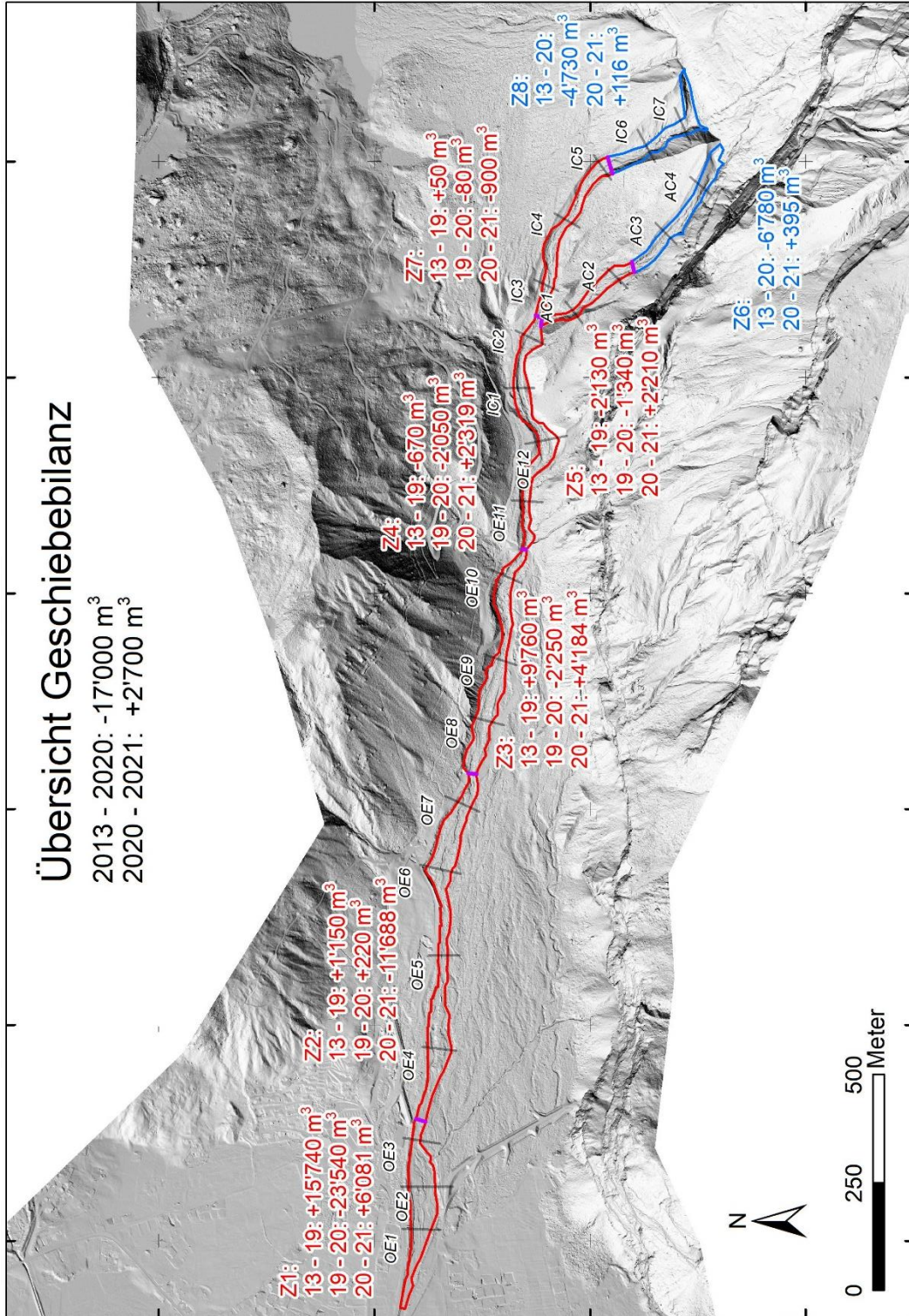


Abbildung 5: Übersicht Geschiebebilanz 2013 – 2021. Für den Gerinnebereich GAP – untere Chalberspiss (Zonen 1–4, 5, 6, rot eingefärbt) wurden Höhenmodelle der Jahre 2013, 2019, 2020 und 2021 ausgewertet, für die oberen Bereiche der Chalberspissbäche (Zonen 6, 8, blau eingefärbt) Höhenmodelle der Jahre 2013, 2020 und 2021 (Tabelle 3). Violette Linien entsprechen den Übergängen zwischen den Zonen. Graue, annotierte Linien entsprechen den Querprofilen.

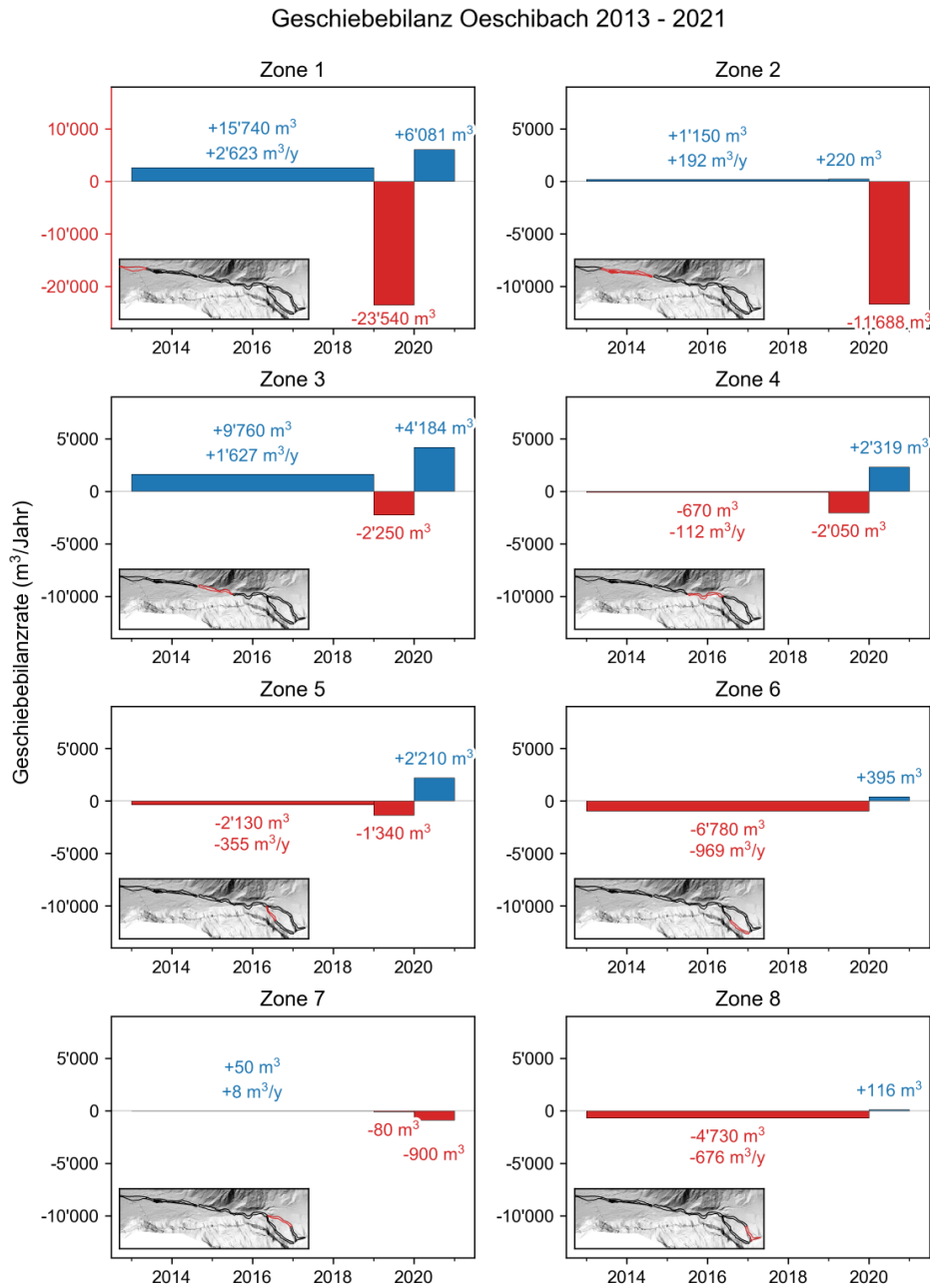


Abbildung 6: Geschiebebilanz 2013 – 2021. Für den Gerinnebereich GAP – untere Chalberspissi (Zonen 1–4, 5, 6) wurden Höhenmodelle der Jahre 2013, 2019, 2020 und 2021 ausgewertet, für die oberen Bereiche der Chalberspissibäche (Zonen 6, 8) Höhenmodelle der Jahre 2013, 2020 und 2021 (Tabelle 3). Die Balkenhöhe und die untere annotierte Zahl entsprechen der Geschiebebilanzrate (m³/y), die Balkenfläche und die obere annotierte Zahl der Geschiebebilanz (m³) über die gesamte Zeitspanne. Im Falle einer Zeitspanne von einem Jahr sind beide Grössen identisch und daher nur einmal annotiert. Bei Zone 1 ist die Spanne der Y-Achse um Faktor 2 verlängert. Die Lage der jeweiligen Zonen ist in den Inset-Karten rot markiert.

### 3.4.2 Entwicklung 2013 – 2020

#### 3.4.2.1 Chalberspissibäche (Zonen 5 – 8)

Die Höhenmodellvergleiche zeigen für die Periode 2013 – 2020 eine negative Geschiebebilanz für beide Chalberspissibäche. Im Gerinne des Äusseren Chalberspissibaches betrug der Geschiebeverlust über sieben Jahre 3'470 m<sup>3</sup> (Zone 5) bzw. 6'780 m<sup>3</sup> (Zone 6), was durchschnittlichen Sohlenabsenkungen von 0.63 bzw. 0.72 m entspricht. In mehreren Bereichen fand eine Kombination lateraler Erosion sowie Tiefenerosion statt (z.B. Profil AC4, Abbildung 7). Neben Bereichen mit Sohlenabsenkung gab es auch einige Gerinneabschnitte mit Auflandungstendenz.

Im Gerinne des Inneren Chalberspissibaches gab es über die Zeitspanne 2013 – 2020 einen Geschiebeverlust in der oberen Zone 8 (-4'730 m<sup>3</sup>, durchschnittlich 0.51 m Sohlenabsenkung); in der darunterliegenden Zone 7 war die Geschiebebilanz über die sieben Jahre ausgeglichen (-30 m<sup>3</sup>). Auch hier zeigt der visuelle Vergleich der Höhenmodelle, dass eine Kombination von lateraler Erosion und Sohlenabsenkung für die dominierenden Geschiebeverluste verantwortlich war (z.B. Profil IC6, Anhang 4).

Sturzmaterial aus dem Bereich Spitze Stei scheint bei den bisher auftretenden Sturzkubaturen nicht langfristig in den Chalberspissibächen abgelagert zu werden. Der vermehrte Schutteintrag aus dem Spitze Stei scheint stattdessen eine erhöhte Murgangaktivität hervorzurufen, welche das frisch eingetragene Sturzmaterial aus den Chalberspissibächen laufend austrägt. Eine solche Zunahme der Murgangaktivität im Gerinne wird von Beobachtern bestätigt. Die vorliegenden Daten zeigen interessanterweise, dass durch die erhöhte Murgangaktivität nicht nur das bisher eingetragene Sturzmaterial evakuiert worden ist, sondern durch Tiefen- und Seitenerosion noch einige tausend Kubikmeter zusätzliches Schuttmaterial aus den Kegeln. Dass es in den Chalberspissibächen nicht zu Ablagerungen kommt, dürfte auf das steile Gerinnegefälle zurückzuführen sein (> 12°, Kapitel 2.2).



Profil AC4

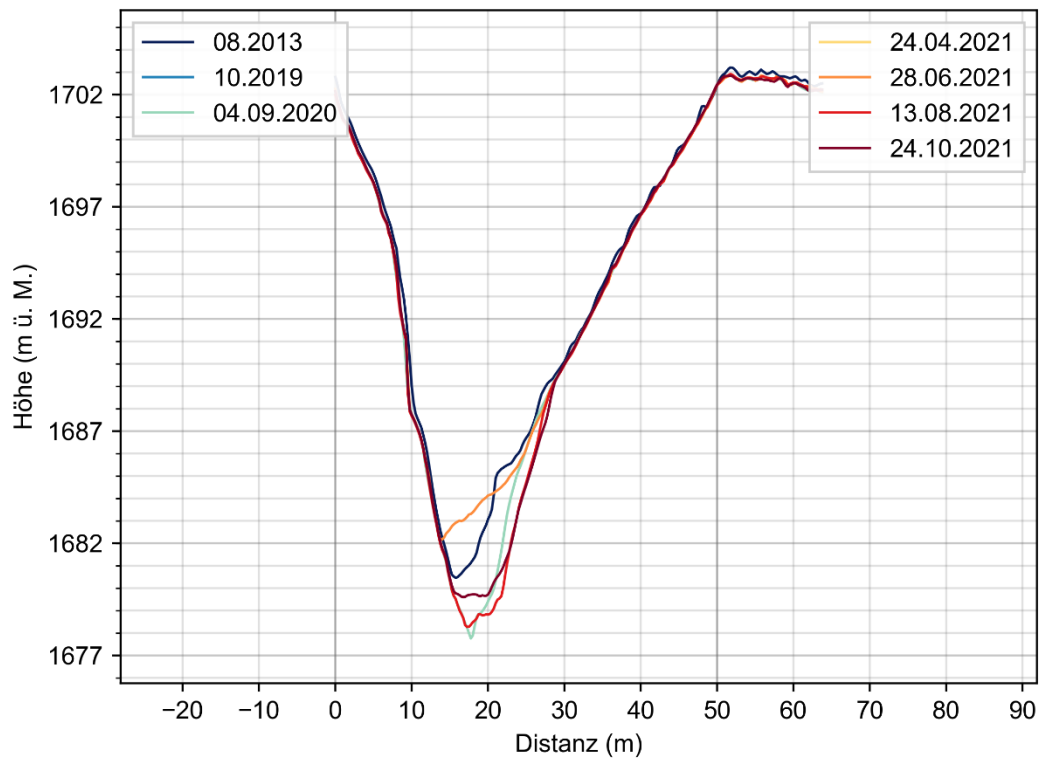
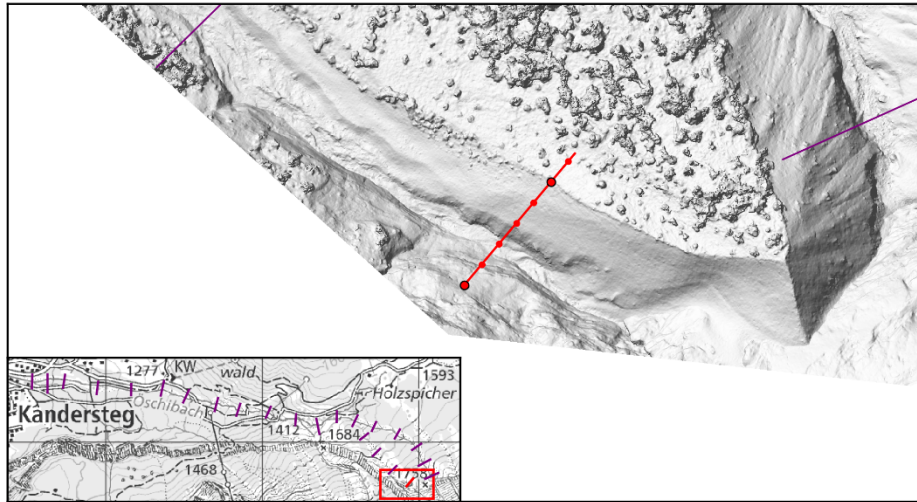


Abbildung 7: Tiefen- und Seitenerosion seit 2013 im obersten Bereich des Äusseren Chalber-spissibaches. Die Kurve vom 28. Juni 2021 zeigt einen vorübergehenden Höhen-gewinn infolge Lawinschneeablagerungen. Vgl. Anhang 4 für zusätzliche Profile.



### **3.4.2.2 Oberer Oeschibach (Zonen 3 und 4, Tirolerwehr bis Zusammenfluss Chalberspissibäche)**

In Zone 4 (Rinderstutzbrücke bis Zusammenfluss Chalberspissibäche) war die Geschiebebilanz über die Periode 2013 bis 2020 wie in den Chalberspissibächen negativ ( $-2'720 \text{ m}^3$ , entspricht 0.18 m Sohlenabsenkung). Im Gegensatz zu den Chalberspissibächen kam es in diesem Gerinneabschnitt jedoch zu Baggerungen mit unbekanntem Geschiebeentnahmen. Bei der Wasserfassung Chalberspissi wurde mindestens einmal interveniert (Erstellung Damm südlich des Gerinnes vgl. Profil IC1 in Anhang 4); im Gerinneabschnitt oberhalb der alten Rinderstutzbrücke scheint mehrmals interveniert worden zu sein. Generell lassen die beobachteten Sohlenveränderungen in diesem rund  $12^\circ$  steilen Gerinneabschnitt auf eine hohe Wildbachdynamik mit zeitlich und räumlich wechselnden Auflandungen und Erosionen schliessen (vgl. z.B. Profil OE12).

In der darunterliegenden Zone 3 (Tirolerwehr bis Rinderstutzbrücke) war die Geschiebebilanz über die Periode 2013 – 2020 positiv ( $+7'510 \text{ m}^3$ , entspricht 0.48 m Sohlenuflandung). Für die erste Teilperiode (2013 – 2019) betrug der Geschiebegewinn  $9'760 \text{ m}^3$ , gefolgt von einem Verlust von  $2'250 \text{ m}^3$  für die zweite Teilperiode (2019 – 2020). Der Verlust der Periode 2019 – 2020 dürfte auf Baggerungen zurückzuführen sein (vgl. z.B. Profil OE8). Ablagerungen scheinen beim aktuellen Regime präferentiell im unteren Abschnitt der Zone 3 (zwischen Tirolerwehr und Skibrücke) stattzufinden. Die Gerinneneigung liegt hier bereits unter  $10^\circ$ , zudem ist das Gerinne etwas breiter, was die Entwässerung von Murgängen und damit Geschiebeablagerungen begünstigen dürfte. Im oben angrenzenden Gerinneabschnitt der Zone 3 (zwischen Skibrücke und der alten Rinderstutzbrücke) scheint die Auflandungstendenz weniger stark ausgeprägt, was u.a. dem steileren, schmaleren Gerinne geschuldet sein dürfte.

### **3.4.2.3 Unterer Oeschibach (Zonen 1 und 2, Geschiebeablagerungsplatz bis Tirolerwehr)**

In Zone 2 (100 m unterhalb Verkehrsvereinsbrücke bis Tirolerwehr) kam es in der Periode 2013 – 2020 zu einem Geschiebegewinn von  $1'370 \text{ m}^3$ , was einer durchschnittlichen Sohlenuflandung von 0.07 m entspricht. Die Bilanzen waren in beiden Teilperioden (2013 – 2019; 2019 – 2020) leicht positiv. In der zweiten Teilperiode 2019 – 2020 ( $+220 \text{ m}^3$  Geschiebegewinn) gab es grössere Geschiebeentnahmen im unteren Bereich der Zone 2 um Koordinate 500 m, welche jedoch durch Murgangablagerungen im oberen Bereich der Zone (Kraftwerk Zilfluri) kompensiert wurden. Ohne Baggerungen wäre es in diesem flachen (Gerinneneigung um  $6^\circ$  –

7°) und teilweise breiten Gerinneabschnitt zu deutlich grösseren Geschiebegewinnen gekommen.

In Zone 1 (GAP-Abschluss bis 100 m unterhalb Verkehrsvereinsbrücke) kam es während der Periode 2013 – 2020 zu einem Geschiebeverlust von 7'800 m<sup>3</sup> (Sohlenabsenkung 0.47 m). In der Teilperiode 2013 bis 2019 betrug die Geschiebebilanz noch +15'740 m<sup>3</sup> (Sohlenauflandung 0.95 m); in der Teilperiode 2019 – 2020 dann -23'540 m<sup>3</sup> (Sohlenabsenkung 1.42 m). Der Gewinn von 15'740 m<sup>3</sup> über sechs Jahre dürfte der natürlichen Sohlenauflandung im breiten und flachen Gerinne (Gefälle um 5°), bei geringen bzw. gänzlich ausbleibenden Baggerungen entsprechen. Die stark negative Bilanz in der zweiten Teilperiode 2019 – 2020 ist den umfangreichen Geschiebeentnahmen im Rahmen der Dammerstellung zuzuschreiben (vgl. Profile OE1 und OE2).

### **3.4.3 Entwicklung 2020 – 2021**

#### **3.4.3.1 Oeschibach**

Für die Periode 2020 – 2021 stehen zeitlich höher aufgelöste Geländemodelle zur Verfügung als in den Vorjahren (Tabelle 3), womit erste Aussagen zur saisonalen Gerinnekodynamik / Geschiebeentwicklung gemacht werden können (Abbildung 8).

Geschiebebilanz Oeschibach September 2020 - Oktober 2021

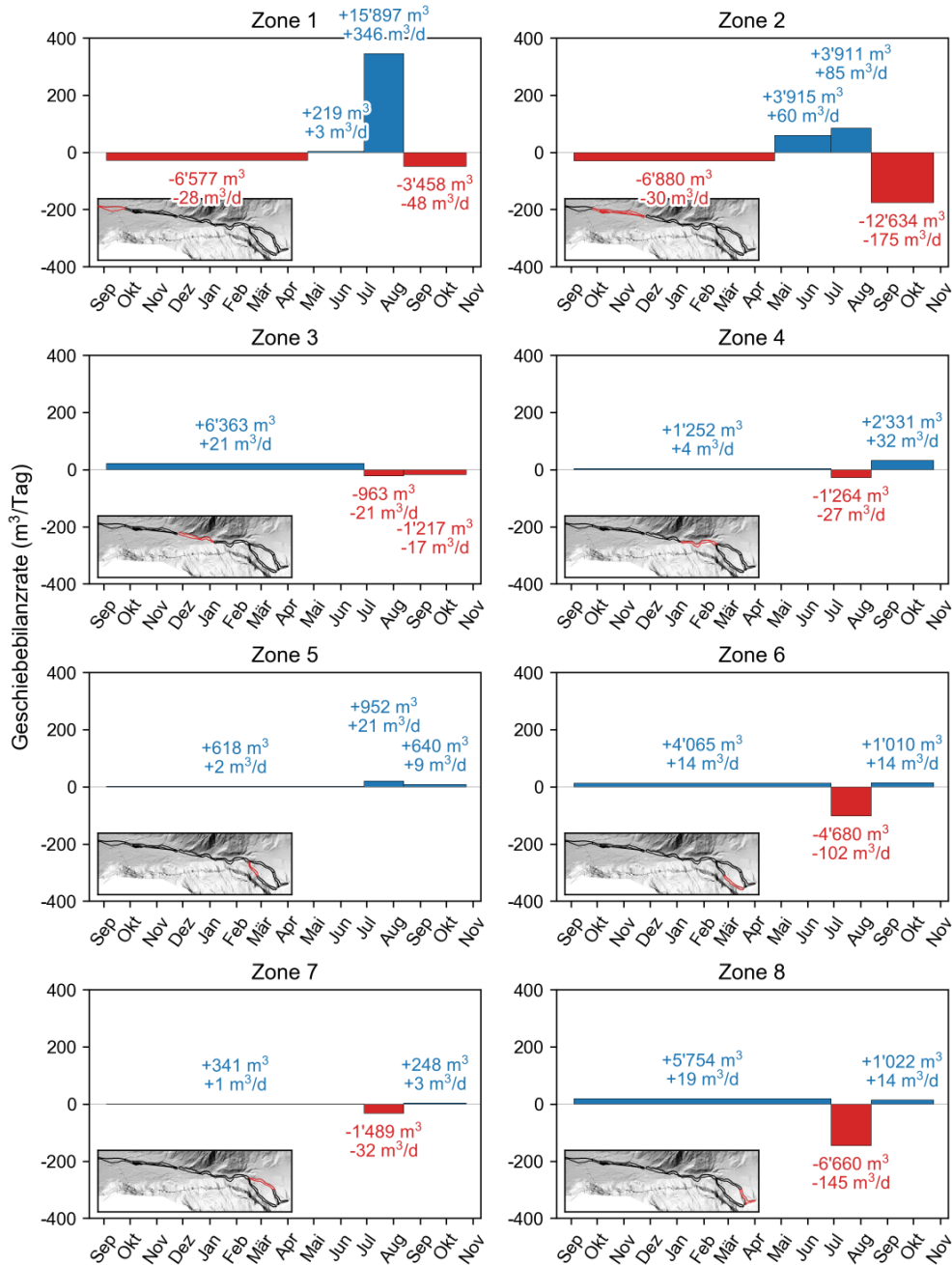


Abbildung 8: Geschiebebilanz 04. September 2020 – 24. Oktober 2021. Für den Zeitraum stehen für die Zonen 1 und 2 fünf und für die Zonen 3 – 8 vier Höhenmodelle zur Verfügung (Tabelle 3). Die Balkenhöhe sowie die untere annotierte Zahl repräsentieren die Geschiebebilanzraten (m³/d), die Balkenfläche und die obere annotierte Zahl die Geschiebebilanz (m³) über die Zeitspanne zwischen den verglichenen Höhenmodellen. Summiert entsprechen die Balken den jeweils letzten Balken in Abbildung 6.

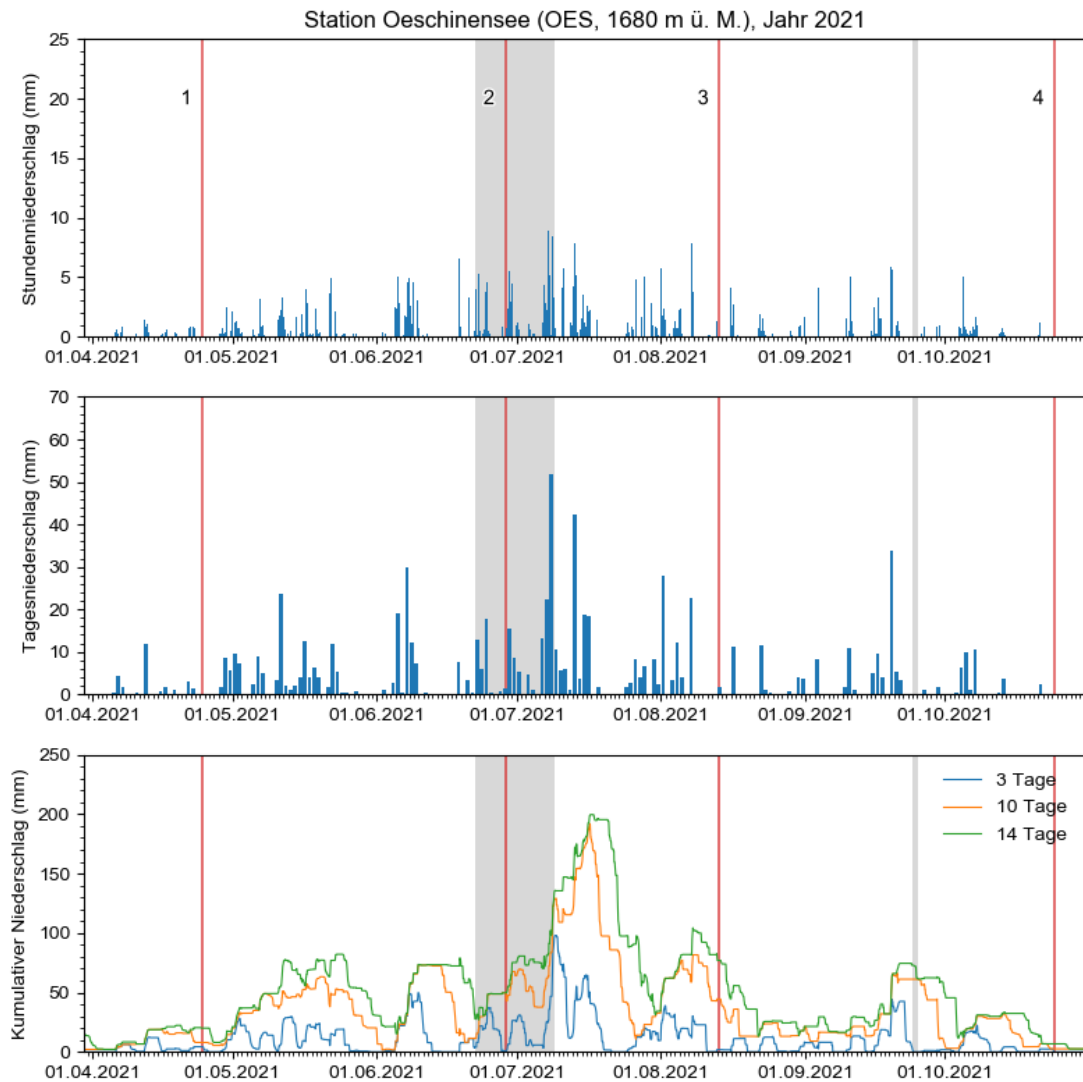


Abbildung 9: Drohnenbefliegungen Oeschibach 2021 (rote nummerierte Linien) vs. Murgangphasen (graue Flächen). Pro Subplot hinterlegt sind Stunden- und Tagesniederschläge sowie kumulative Niederschläge.

#### 04.09.2020 – 24.04.2021 (232 Tage)

Der Höhenmodellvergleich 04.09.2020 – 24.04.2021 deckt das generell ruhige Winterhalbjahr ab. Murgänge bzw. geschiebeführende Hochwasser sind für die Zeitperiode nicht dokumentiert. Im von den Höhenmodellen abgedeckten, unteren Gerinneabschnitt des Oeschibaches (Skibrücke – GAP, Abbildung 10) dominiert während der Vergleichsperiode Sohlenerosion. Dies gilt für Bereiche mit Baggerungen (Annotationen 1 – 3) sowie Bereiche ohne Interventionen (Annotation 4 in

Abbildung 10, oberer Bereich Zone 2 oder unterer Bereich Zone 3). Diese Entwicklung dürfte darin begründet sein, dass der Geschiebeeintrag in die unteren Gerinnebereiche bis weit in den Frühling reduziert ist, infolge Schneebedeckung / fehlendem Wassereintrag in den oberen Gerinnebereichen.

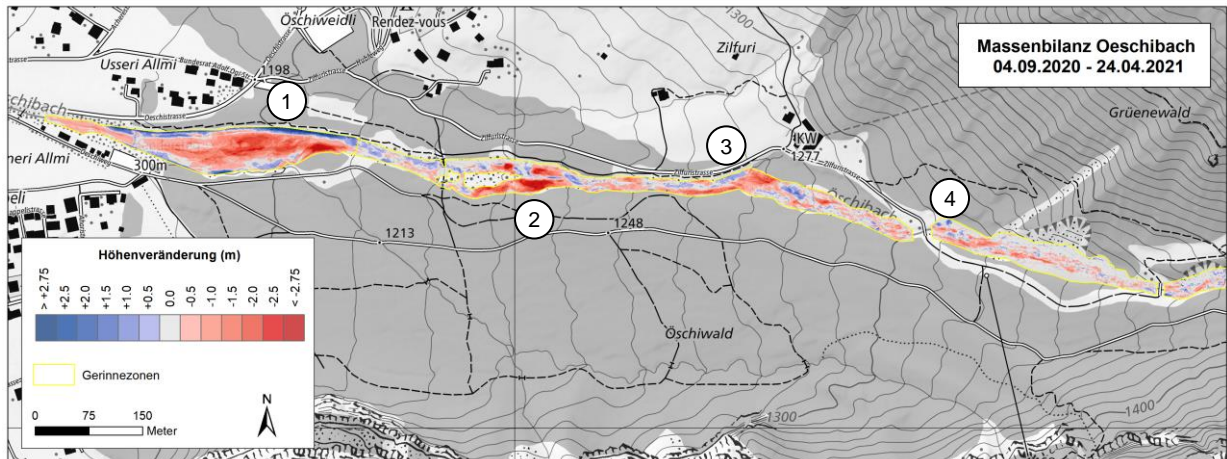


Abbildung 10: Sohlenveränderung im unteren Bereich des Oeschibaches, 04.09.2020 – 24.04.2021. Die Annotationen 1 bis 3 zeigen Gerinneabschnitte mit starken Sohlenabsenkungen infolge Baggerungen, Annotation 4 Gerinneabschnitte mit Sohlenabsenkungen ohne Baggerungen. Vgl. Anhang 2 für vergrößerte Karten und zonenweise Geschiebebilanzen.

#### **24.04.2021 – 28.06.2021 (65 Tage)**

Der Höhenmodellvergleich 24.04.2021 bis 28.06.2021 (in den oberen Gerinnebereichen 04.09.2020 bis 28.06.2021) deckt die erste Woche einer rund 2.5 Wochen dauernden Murgangphase ab (22.06. – 09.07.2021, erste graue Fläche in Abbildung 9). Mehrere Murschübe, primär aus dem Inneren Chalberspissibach, führten im Gerinneabschnitt Tirolerwehr – Skibrücke zu Ablagerungen mit Mächtigkeiten um 3 m (Annotation 1 in Abbildung 11); unterhalb des Kraftwerkes Zilfuri wurden Murgangablagerungen mit Mächtigkeiten im Meterbereich gemessen (Annotation 2). Gesamthaft umfassen die Murgangablagerungen im Abschnitt Skibrücke – Zilfuri eine Kubatur von gut 15'000 m<sup>3</sup>. Weiter gerinneabwärts führte geschiebereicher Abfluss zur Rückfüllung zuvor ausgebaggerter Bereiche (Annotation 3). Bis zum 28.06. gelangte erst wenig Geschiebe bis zum GAP (Auflandungen bis maximal 0.5 m Mächtigkeit, Annotation 4).



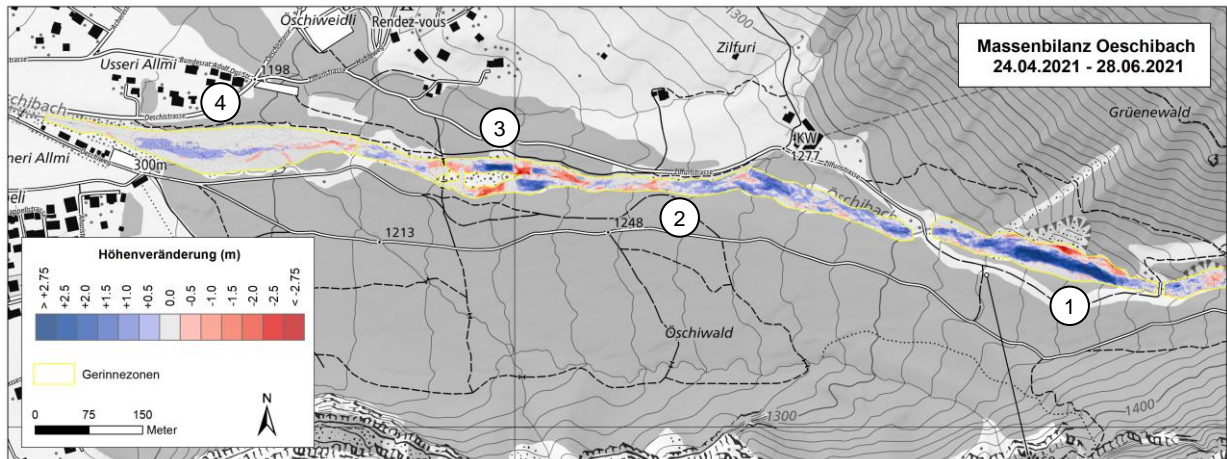


Abbildung 11: Sohlenveränderung im unteren Bereich des Oeschibaches, Periode 24.04.2021 – 28.06.2021. Mächtige Murgangablagerungen gab es zwischen Tirolerwehr und Skibrücke (Annotation 1). Die Murgänge reichten bis unterhalb des Kraftwerkes Zilfuri (Annotation 2). Geschiebereicher Abfluss unterhalb dieses Bereiches führte zur Rückfüllung zuvor ausgebaggerter Bereiche (Annotation 3). Im GAP (Annotation 4) wurde erst wenig Geschiebe abgelagert.

### 28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)

Der Höhenmodellvergleich 28.06.2021 bis 13.08.2021 (Abbildung 12) deckt 1.5 Wochen im zweiten Teil der Murgangphase ab (Abbildung 9). Im Anschluss an diese Murgangphase gab es weitere niederschlagsreiche Perioden, grössere Murgänge wurden jedoch nicht mehr beobachtet ([5], Abbildung 9). In der Vergleichsperiode gelangten grosse Geschiebekubaturen aus den höheren Gerinnebereichen bis zum GAP (Annotation 1 in Abbildung 12), womit die Geschiebebilanzen in Zone 1 (+15'897 m<sup>3</sup>) und 2 (+3'911 m<sup>3</sup>) trotz fortgeführter Baggerungen deutlich positiv ausfielen (Abbildung 8). In den Gerinnebereichen oberhalb der Zone 2 (ab Annotation 2 in Abbildung 12) dominierten Geschiebeverluste. In den Zonen 3 und 4 sind die Verluste primär auf die Remobilisierung von Geschiebe zurückzuführen, das durch die Murgänge der Vorperiode abgelagert worden ist. Im Bereich der Skibrücke fanden zudem maschinelle Interventionen statt, wobei das Geschiebe dem Gerinnebereich nicht entnommen, sondern nur verschoben wurde (z.B. zur Erhöhung der Dämme unterhalb Skibrücke, vgl. Profil OE8). Die gemessenen Geschiebeverluste in den Chalberspissibächen (Annotation 3) sind primär eine Folge der Murgänge zu Beginn der Vergleichsperiode, deren Austräge durch die laufenden Geschiebeeinträge aus der Rutschung Spitze Stei nicht kompensiert wurden (während Vergleichsperiode gab es keine grösseren Materialabstürze aus der Rutschung). Der gemessene Geschiebeausstrag wird durch die fortschreitende

Schmelze des Lawinenschnees im obersten Bereich der Chalberspissibäche (dunkelrote Flächen bei Annotation 4) etwas überzeichnet.

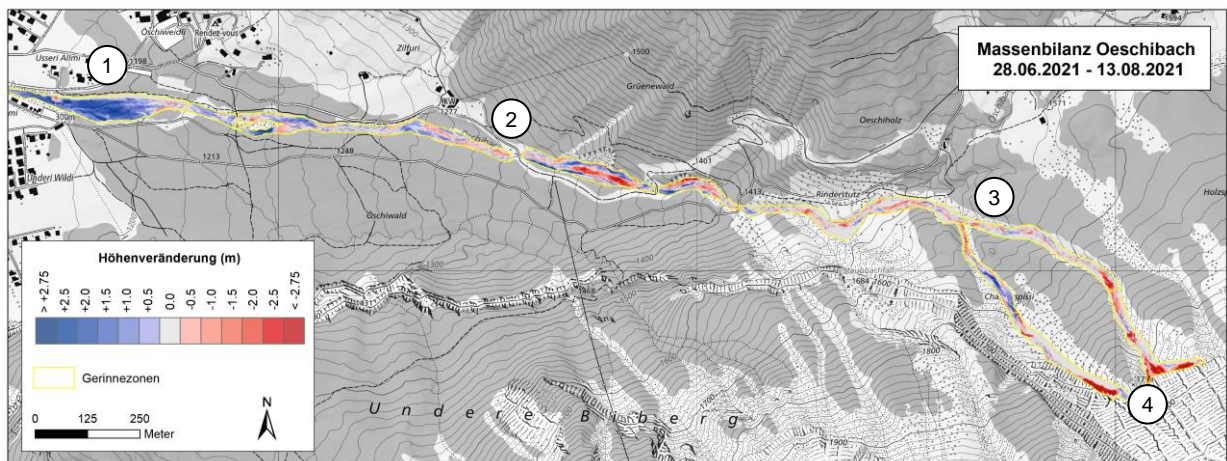


Abbildung 12: Sohlenveränderung Oeschibach, Periode 28.06.2021 – 13.08.2021. Umfangreiche Geschiebeakkumulationen bei Annotation 1, Geschiebeverluste bei den Annotationen 2 und 3 infolge Remobilisierung und Murgangausträgen. Höhenverluste infolge Schneeschmelze bei Annotation 4. Generell starke Veränderungen des Gerinnetopografie deuten auf eine hohe Wildbachdynamik hin. Vgl. Anhang 2 für vergrösserte Karten und zonenweise Geschiebebilanzen.

### 13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)

Im Höhenmodellvergleich 13.08.2021 bis 24.10.2021 (Abbildung 13) dominieren vom GAP bis zum Kraftwerk Zilfuri Geschiebeentnahmen durch Baggerungen (Annotation 1), welche insbesondere in Zone 2 markant ausfielen (-12'634 m<sup>3</sup>, Abbildung 8). In Zone 3 und dem unteren Bereich der Zone 4 (Annotation 2 in Abbildung 13) kam es zu Geschiebeausträgen ohne Interventionen, wobei die Gerinnetdynamik im Vergleich zur Vorperiode aufgrund des geringeren Abflusses sowie ausbleibender grösserer Murgänge deutlich nachliess. Im oberen Bereich der Zone 4 (Annotation 3) sind die Ablagerungen der kleinen Murgänge aus dem Äusseren Chalberspissibach ersichtlich, welche im Nachgang an das Sturzereignis vom 23./24. September aus dem Spitze Stei auftraten (zweite graue Fläche in Abbildung 9). Beim Ereignis in der unteren Westflanke wurden rund 11'000 m<sup>3</sup> Material mobilisiert [4]. Die Höhenmodellvergleiche zeigen, dass rund 6'000 m<sup>3</sup> je hälftig im Gerinne des Äusseren Chalberspissibaches (Annotation 4 in Abbildung 13) sowie nach dem Zusammenfluss der beiden Chalberspissibäche (Annotation 3) abgelagert worden ist. Die Restkubatur (rund 5'000 m<sup>3</sup>) befindet sich noch unterhalb der Anrissnische im Rutschgebiet. Demnach wurde per Ende Oktober noch kaum

Schutt des Sturzereignisses bis in die mittleren Gerinnebereiche (Skibrücke) transportiert.

Im Inneren Chalberspissibach traten während der Vergleichsperiode nur geringe Gerinneveränderungen auf; einzig im obersten Gerinnebereich (Annotation 5) sind frische Ablagerungen vereinzelter, kleiner Stürze aus dem Spitzen Stei ersichtlic.

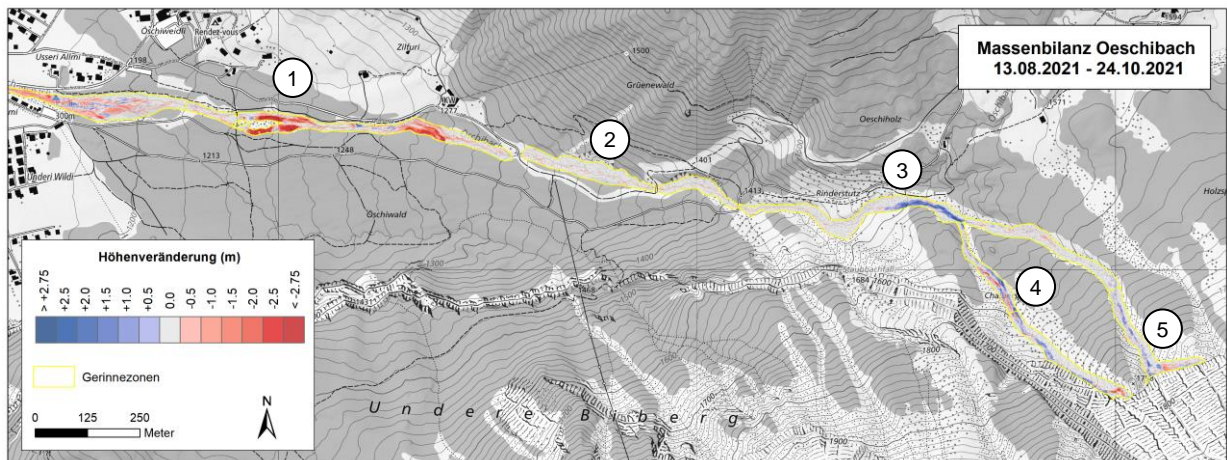


Abbildung 13: Sohlenveränderung Oeschibach, Periode 13.08.2021 – 24.10.2021. Geschiebeausträge durch Baggerungen bei Annotation 1. Leichte Geschiebeausträge durch natürliche Sohlenerosion (unterschrittene Geschiebetransportkapazität) bei Annotation 2. Murgangablagerungen bzw. Umlagerungen bei Annotationen 3 und 4. Sturzablagerungen bei Annotation 5.

### 3.4.3.2 Spitze Stei

Abbildung 14 zeigt die Höhenveränderungen und Massenbilanzen des Spitze Steis zwischen 2020 und 2021 (Periode 04.09.2020 – 01.10.2021). Für Zone 9 (EZG des Äusseren Chalberspissibaches) wird ein Geschiebeverlust von gut 12'000 m<sup>3</sup> ausgewiesen, primär als Folge des Sturzereignisses vom 23./24. September 2021 (rote Fläche bei Annotation 1, Verlust von ca. 11'000 m<sup>3</sup> Material). Der tatsächliche Geschiebeaustrag dürfte höher liegen, da die tiefgründige Rutschbewegung infolge der dominierenden Geländeexposition verbreitet zu Terrainerhöhungen führt, welche die berechneten Geschiebeverluste künstlich reduzieren (z.B. nordwestlich der Annotation 1 in Abbildung 14). Unter Berücksichtigung dieses Effektes liegt der tatsächliche Massenausstrag aus Zone 9 bei rund 20'000 m<sup>3</sup>. Geschiebeauflockerung dürfte in Zone 9 eine untergeordnete Rolle spielen, da für den Zeitraum keine Abstürze grösserer Blöcke/Pfeiler verzeichnet sind.



Für Zone 10 (EZG des Inneren Chalberspissibaches) wird ohne Korrekturen eine positive Geschiebebilanz (+292 m<sup>3</sup>) ausgewiesen (Abbildung 14), womit die tatsächlichen Austräge jedoch deutlich unterschätzt werden. Allein der Kollaps des Felspeilers 13/16 im Oktober 2020 (roter Bereich bei Annotation 2 in Abbildung 14) mit nachfolgender Ablagerung der aufgelockerten Sturzmasse innerhalb der Rutschung (blauer Bereich bei Annotation 3) führt zu einer Unterschätzung des Geschiebeausstrages von 3'000 – 5'000 m<sup>3</sup>. Weitere Sturzereignisse mit nachfolgender Auflockerung der Sturzmasse vergrössern diesen systematischen Fehler. Beobachtungen zeigen zudem, dass teilweise Materialeinträge von ausserhalb der Zone 10 (z.B. aus dem Bereich um Annotation 4) in die Zone 10 hinein erfolgten, was ebenfalls zur Unterschätzung des Geschiebeverlustes beiträgt. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren gehen wir davon aus, dass für Zone 10 ein Geschiebeverlust in der Grössenordnung 10'000 m<sup>3</sup> vorliegt.

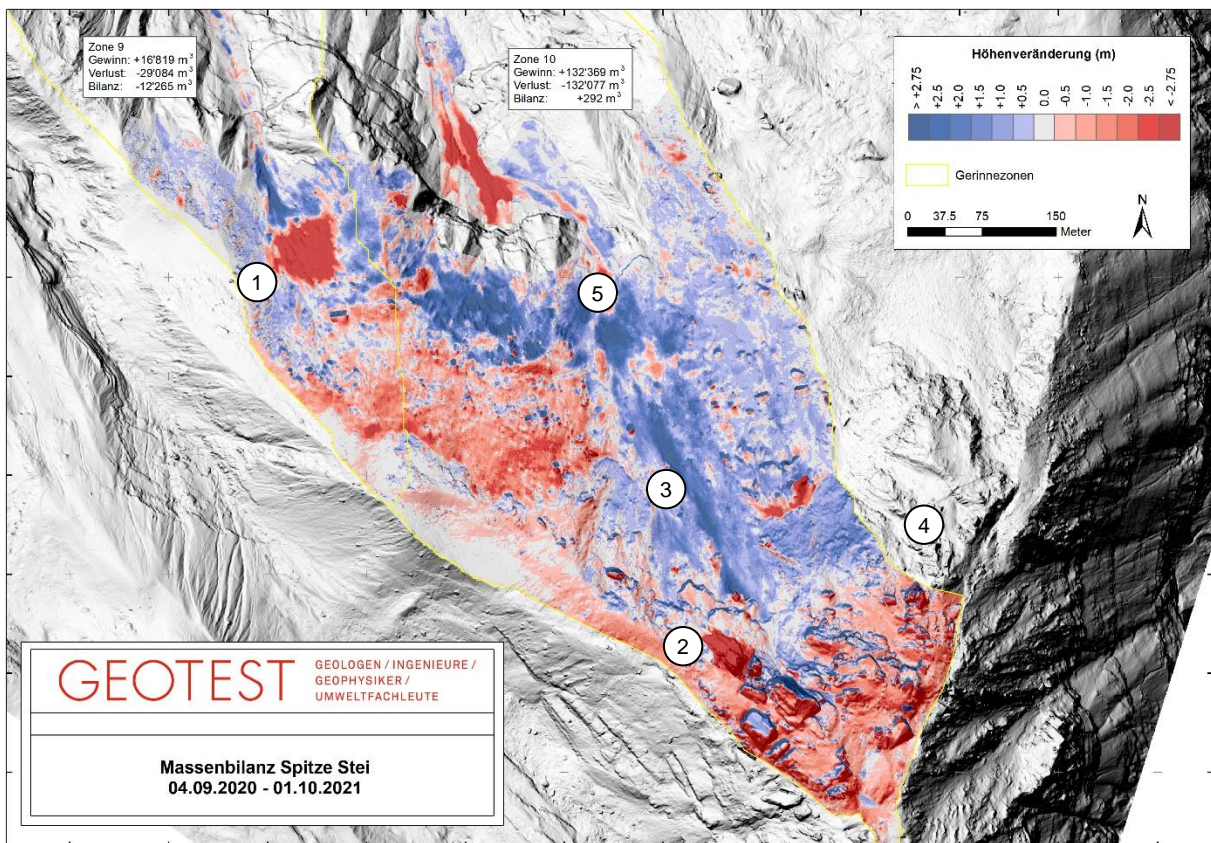


Abbildung 14: Terrainveränderung Spitze Stei im Einzugsgebiet des Äusseren Chalberspissibaches (Zone 9) sowie des Inneren Chalberspissibaches (Zone 10), Periode 04.09.2020 – 01.10.2021.

Der Gesamteintrag in die beiden Chalberspissibäche aus Zonen 9 und 10 liegt damit in der Grössenordnung 30'000 m<sup>3</sup>. Obwohl der Äussere Chalberspissibach mit einer deutlich kleineren Fläche ins Rutschgebiet reicht als der Innere Chalberspissibach (ca. Faktor 5 kleiner, Kapitel 2.1), war der Schutteintrag während der Saison 2020 – 2021 grösser, dies primär aufgrund des Rutschereignisses aus der Rutschfront vom 23./24. September 2021. Im Gegensatz zu den Vorjahren gab es im EZG des Inneren Chalberspissibaches während der Saison 2020 – 2021 kein einziges grösseres Ereignis aus dem Frontbereich der Rutschung. Die ausbleibenden Abbrüche führten infolge der anhaltenden bzw. weiter zunehmenden Rutschbewegung zu grossen Geschiebeakkumulation im Frontbereich (blaue Flächen bei Annotation 5, Abbildung 14).

### 3.4.3.3 Gesamtbilanz

Während der Vergleichsperiode 2020 – 2021 war die Geschiebebilanz über alle acht Gerinnezonen hinweg ungefähr ausgeglichen (+2'700 m<sup>3</sup>). Unter der Annahme, dass die Dichte des Schuttkörpers im Bachbett zeitlich konstant bleibt, entsprechen die +2'700 m<sup>3</sup> der Bilanz aus Geschiebeeinträgen und -austrägen, namentlich:

- (1) Geschiebeeinträgen aus dem Spitze Stei via Chalberspissibäche,
- (2) Geschiebeeinträgen aus weiteren Seitengerinnen (u.a. Staubbach),
- (3) Geschiebeausträgen aus dem GAP in die Kander sowie
- (4) Geschiebeentnahmen durch Baggerungen.

Die Grössen (2) und (3) wurden nicht quantifiziert, können jedoch nur positive (2) oder negative (3) Werte annehmen. Die Geschiebeentnahmen durch Baggerungen (4) betragen rund 34'000 m<sup>3</sup> fest (42'000 m<sup>3</sup> lose \* Faktor 0.8, Information E+B). Aus der Rutschung Spitze Stei (1) wurden den Chalberspissibächen durch vereinzelte grössere und zahlreiche kleine Abstürze rund 30'000 m<sup>3</sup> Geschiebe zugeführt (Kapitel 3.4.3.2). Für den Ausgleich der Geschiebebilanz mussten aus den weiteren Seitengerinnen (u.a. Staubbach) zusätzlich rund 9'000 m<sup>3</sup> Geschiebe eingetragen worden sein (Abbildung 15). Diese Restgrösse der Bilanz ist direkt proportional zum geschätzten Geschiebeaustrag GAP–Kander (2000 m<sup>3</sup>, Information HZP).

Während die Bestimmung der Bilanz im Gerinneperimeter mit geringen Unsicherheiten verbunden ist (wenige 1000 m<sup>3</sup>), ist die Bestimmung des Masseneintrages aus dem Spitze Stei deutlich unsicherer (mehrere 1000 m<sup>3</sup>, vgl. Kapitel 3.4.3.2).

Bei den ausgebaggerten Geschiebekubaturen gibt es ebenfalls Unsicherheiten in der Grössenordnung einiger 1000 m<sup>3</sup>, da hier von loser Lagerung (ausgebaggertes Geschiebe in Lastwagen) zurück auf feste Lagerung (Geschiebe in Gerinne) zurückgerechnet werden muss.

## Geschiebebilanz Oeschibach 2020 – 2021

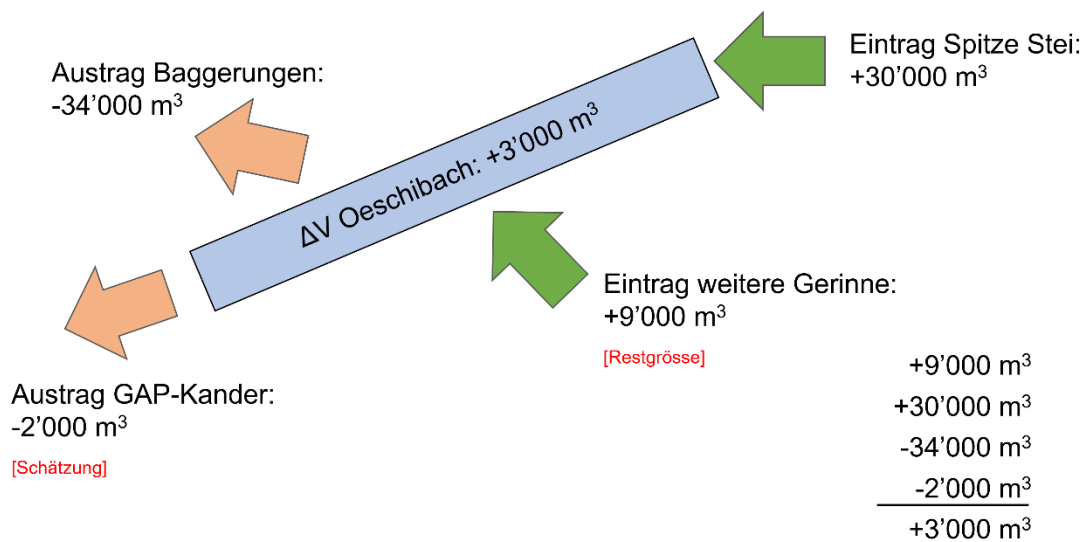


Abbildung 15: Übersicht Geschiebebilanz Oeschibach 2020 – 2021, mit den massgebenden Ein- und Austrägen. Die Gerinnebilanz wurde von +2'700 m<sup>3</sup> auf +3'000 m<sup>3</sup> gerundet.

## 4. Fazit und Ausblick

Mit den erhobenen Daten konnte die Gerinneentwicklung des Oeschibaches im langjährigen und saisonalen Verlauf quantifiziert und das Verständnis für die beobachteten Veränderungen verbessert werden. Die Hauptkenntnisse sind:

- Im langjährigen Höhenmodellvergleich 2013 – 2021 sind keine systematischen Auflandungen in den Chalberspissibächen erkennbar, stattdessen sogar eine leichte Tendenz zur Gerinneerosion. Auflandungen finden in den flacheren Gerinneabschnitten unterhalb statt, insbesondere ab Zone 3 (Bereich Skibrücke).
- Die saisonal aufgeschlüsselten Daten der Periode 2020 – 2021 zeigen, dass frisches Sturzmaterial aus dem Spitze Stei innert Jahresfrist, und in



der Regel schneller (innert Tages- bis Wochenfrist), aus den Gerinnen der Chalberspissibäche ausgetragen wird. Das ausgetragene Material wird bei den beobachteten Murganggrössen (einige 1000 m<sup>3</sup> pro Schub) präferentiell im flacheren, mittleren Bereich des Gerinnes (Bereich Skibrücke) zwischengelagert. Der GAP wird von den Murgängen nicht direkt erreicht. Ein Grossteil der frischen Geschiebeablagerungen im mittleren Gerinne wird innert Wochen remobilisiert und bis in den Geschiebesammler verfrachtet. Der nicht remobilisierte Anteil des Geschiebes führt zu den vorgängig erwähnten, zunehmenden Auflandungen im mittleren Gerinnebereich.

- Ohne die umfangreichen Baggerungen der letzten Jahre wäre es zwischen GAP und Rinderstutzbrücke zu Geschiebeakkumulationen von mehreren 10'000 m<sup>3</sup>/Jahr gekommen. Baggerungen sind folglich essenziell, um die Geschiebebilanz des Oeschibaches auszugleichen und die Infrastruktur entlang des Gerinnes (Brücken, Strasse) zu schützen. Sollten die Geschiebeeinträge aus der Rutschung Spitze Stei hoch bleiben oder wie prognostiziert weiter zunehmen, so dürfte das Halten der Infrastruktur insbesondere im mittleren Gerinnebereich (Skibrücke) zunehmend schwierig werden. In diesem Bereich konzentriert sich der Geschiebeeintrag auf einige wenige Tage bzw. Stunden mit Murschüben. Gerade bei grösseren Ereignissen müssten Interventionen zur Sicherung der Infrastruktur (u.a. Halten Freibord Brücken) jeweils sehr zeitnah erfolgen, was aus verschiedenen Gründen (insbesondere Sicherheit, Logistik) auf Dauer nicht möglich sein dürfte.

Der Ausblick auf das nächste Jahr präsentiert sich wie folgt:

- Im Gerinne des Äusseren Chalberspissibaches bzw. direkt nach dem Zusammenfluss der beiden Chalberspissibäche ist infolge des Sturzes vom 23./24. September 2021 rund 6'000 m<sup>3</sup> Material mehr abgelagert als im Vorjahr. Zusammen mit dem labilen Schutt, der sich immer noch unterhalb der Anrissnische im Rutschgebiet befindet (ca. 5'000 m<sup>3</sup>), dürften diese Kubaturen in der nächsten Murgangphase als erstes mobilisiert werden. Die Murschübe dürften wiederum die Grössenordnung einiger 1'000 m<sup>3</sup> erreichen, ähnlich den Murgängen der vergangenen Jahre.
- Im Inneren Chalberspissibach befindet sich aktuell ungefähr gleich viel Material wie im Jahr zuvor. Aus dem Rutschgebiet gab es im letzten Jahr jedoch keine grösseren Geschiebeausträge in das EZG des Inneren Chalberspissibaches (gesamthaft rund 10'000 m<sup>3</sup>), womit sich im Bereich der

Rutschfront mehrere 10'000 m<sup>3</sup> Material akkumulierten. Zumindest ein Teil dieses Materials dürfte im nächsten Jahr abstürzen und zu Murgängen aus dem Inneren Chalberspissibach führen. Sollten mehrere 10'000 m<sup>3</sup> auf einmal abstürzen, so dürften grössere Murgänge auftreten als in den letzten Jahren, mit entsprechend grösserer Reichweite und höherem Schadenpotential im Bereich der gerinnenahen Infrastruktur (Skibrücke, Übergang Tirolderwehr). Im Falle noch grösserer Sturzereignisse aus dem Spitze Stei ist mit deutlich weitergehenden Konsequenzen zu rechnen. Vgl. Bericht [4] für entsprechende Szenarien und Wirkungsräume.

Methodisch haben sich die Befliegungen und die daran gekoppelten Auswertungen bewährt. Folgende Punkte sind für kommende Kampagnen zu berücksichtigen:

- Mit häufigeren Flügen könnte das Prozessverständnis weiter verbessert werden. So könnten die Reichweiten und Kubaturen einzelner Murgänge bestimmt werden, während in den heutigen Resultaten, insbesondere während der intensiven Murgangphasen, oft nur die Aggregation mehrerer Ereignisse sichtbar ist (Ablagerungen teilweise bereits wieder ausgetragen). Hinsichtlich Kosten-Nutzen scheint das bisherige Überwachungsregime mit ca. vier Gerinnebefliegungen pro Jahr jedoch ein guter Kompromiss.
- Der Geschiebeeintrag des Staubbaches in den Oeschibach ist heute eine wichtige Unbekannte bei der Interpretation der Gesamtbilanz (Kapitel 3.4.3.3). Mit einer Befliegung des Gerinnes könnten Geschiebebilanzen auch für das Staubbachgerinne bestimmt werden, analog der Chalberspissibäche. Im Rahmen der Befliegung des Spitze Steis wird bereits ein Grossteil des Staubbachgerinnes mit der Drohne abgedeckt (pinker Perimeter in Abbildung 1). Es ist zu überprüfen, ob der verbleibende Gerinneabschnitt bei den kommenden Befliegungen ohne grösseren Mehraufwand miteinbezogen werden kann.
- Die Berücksichtigung der Geschiebeentnahmen ist für die Bestimmung der Gesamtbilanz und generell für die Interpretation der Daten sehr wichtig. Baggerungen sollten daher auch in Zukunft so detailliert wie möglich dokumentiert werden (Zeit und Ort der Intervention, entnommene Geschiebekubaturen).

## 5. Quellen

- [1] GEOTEST AG (2021): «Kandersteg, Oeschibach, Dispositionsmodell Murgang», Bericht Nr. 1420057.1.
- [2] GEOTEST AG (2019): «Kandersteg, «Spitze Stei», Gefahrenmanagement, Ergebnisse und Auswertungen 2019», Bericht Nr. 1418139.2.
- [3] GEOTEST AG (2020): Kandersteg, «Spitze Stei», Gefahrenmanagement 2020, Datenerhebungen und Auswertungen 2020, Bericht Nr. 1418139.12.
- [4] GEOTEST AG (2021): Kandersteg, «Spitze Stei», Gefahrenmanagement 2021, Überprüfung Szenarien und Wirkungsräume, Bericht Nr. 1418139.25.
- [5] GEOTEST AG (2021): Kandersteg, Rutschung «Spitze Stei», Entwicklung Sommer 2021, Bericht Nr. 1418139.21.
- [6] GEOTEST AG (2021): Kandersteg, «Spitze Stei», Kinematische Daten 2021 / 3D-Modell Rutschung Spitze Stei, Bericht Nr. 1418139.23.

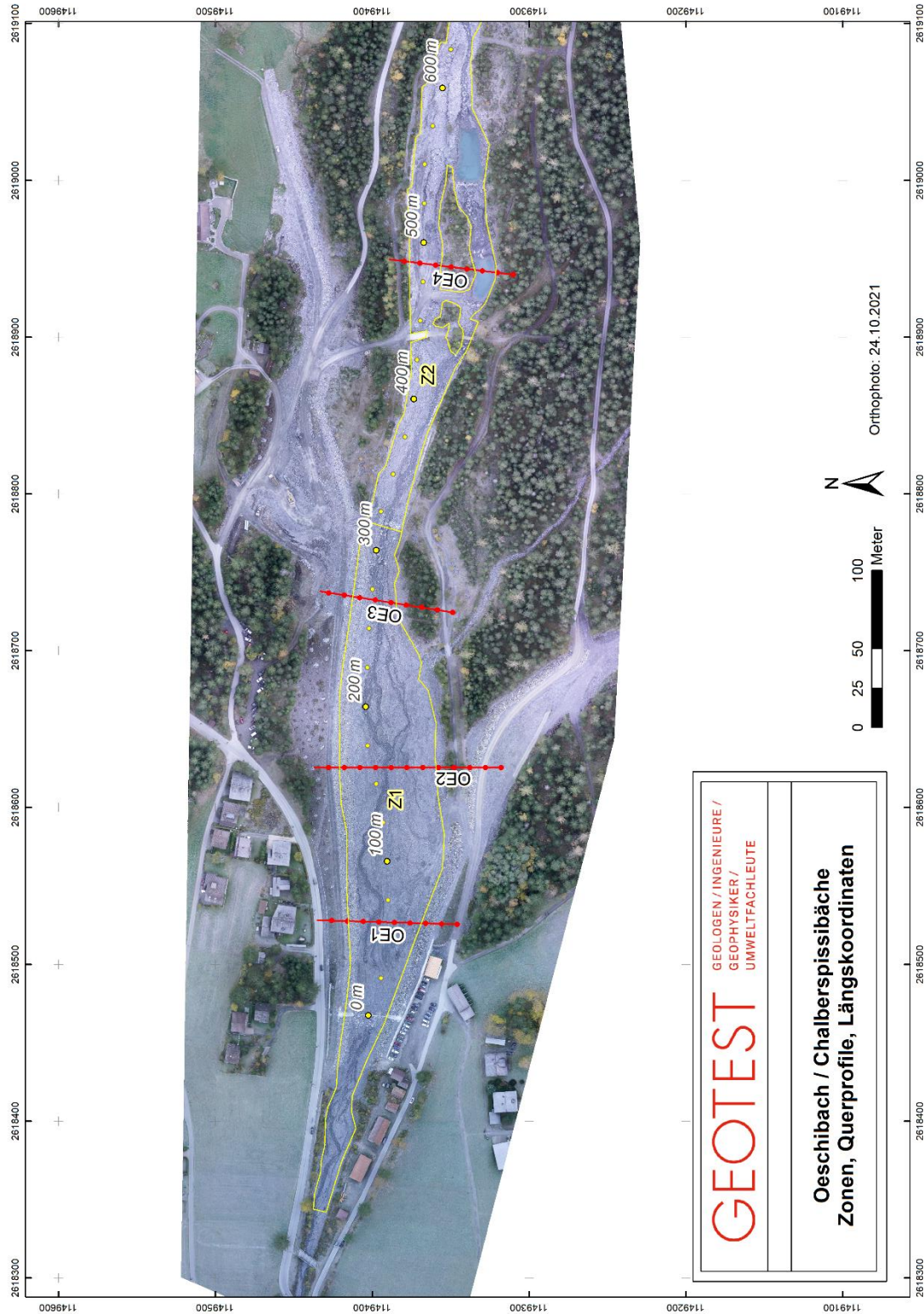
## **Anhang 1 – Übersicht Zonen / Querprofile / Längskoordinaten**

In den nachfolgenden vier Übersichtskarten sind die Längskoordinaten für den Oeschibach bzw. die Chalberspissibäche dargestellt. Gelbe Punkte repräsentieren 25 m Abschnitte, schwarz umrandete und mit Distanzangaben annotierte Punkte 100 m Abschnitte. Der Nullpunkt des Systems liegt beim GAP-Abschluss (Murgangnetz).

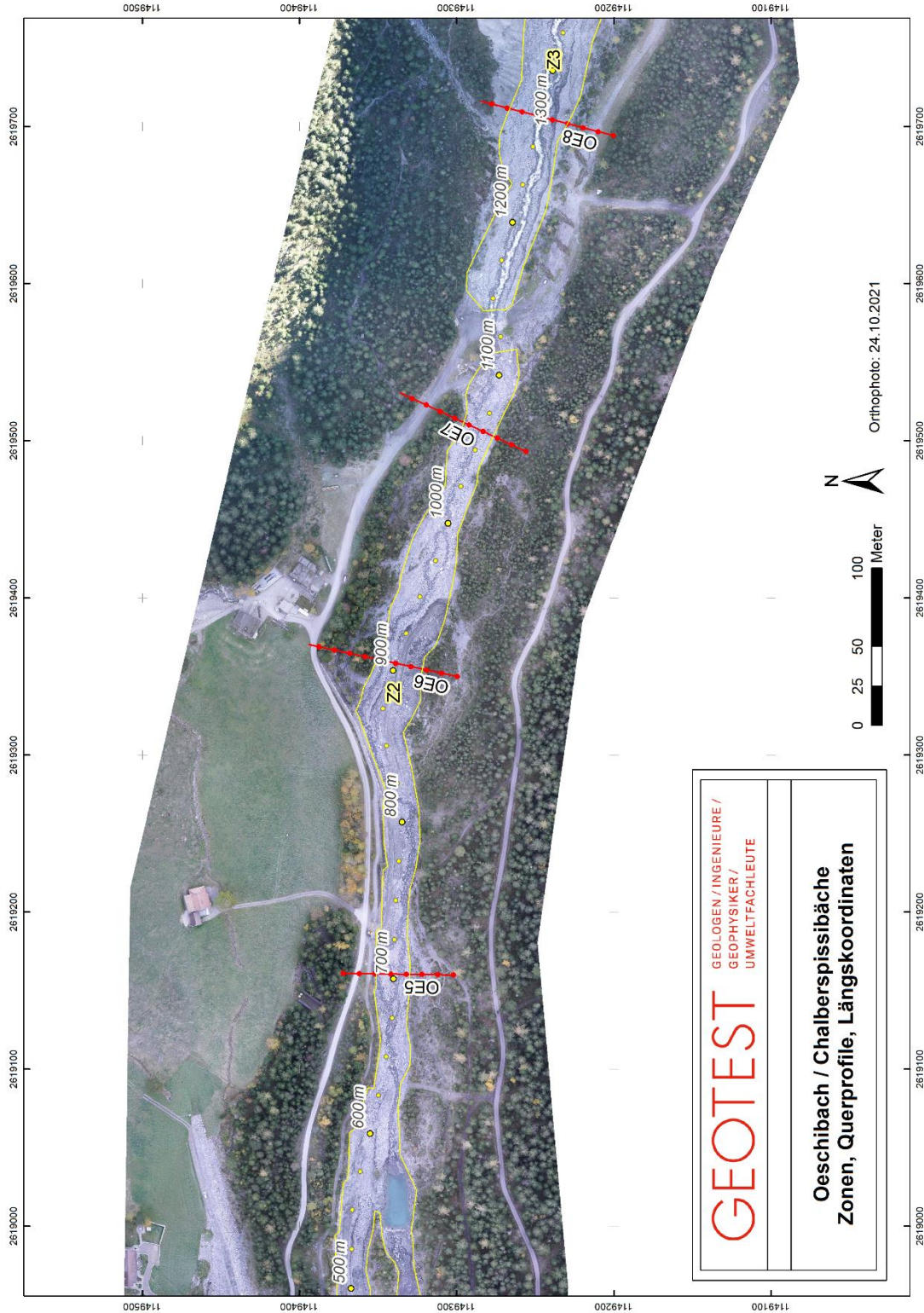
Die für das Sampling der Höhenmodelle genutzten Querprofile sind mit roten Linien dargestellt. Rote Punkte entsprechen 10 m Markern.

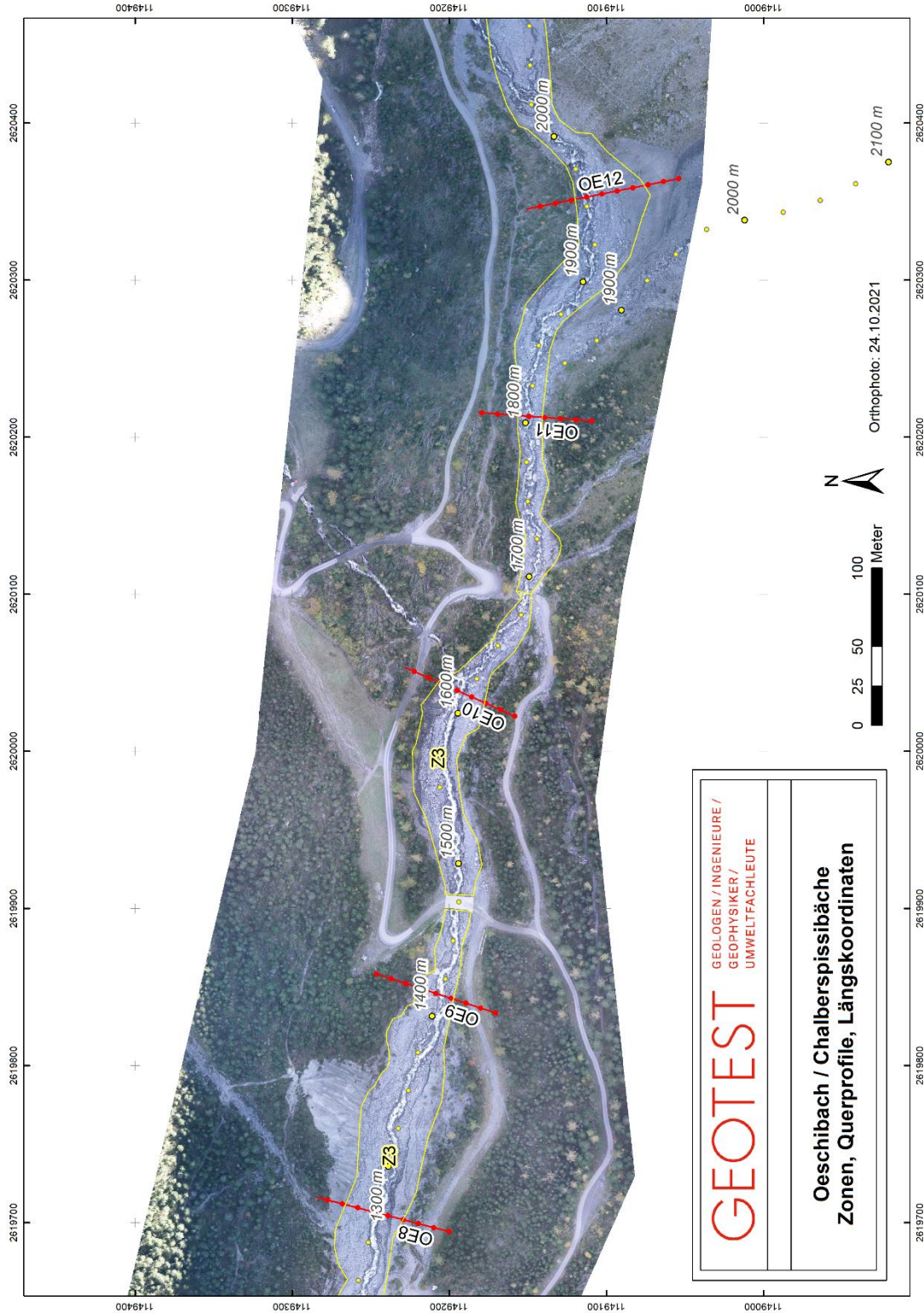
Die Gerinnezonen zur Berechnung der Geschiebebilanzen sind gelb umrandet. Bei der Ausscheidung der Zonen wurden Gerinnebereiche mit Gebüsch und Bäumen soweit möglich weggelassen, da dort mittels Photogrammetrie berechnete Höhenveränderungen fehlerhaft sein können.

<b>Zone</b>	<b>Fläche (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Längskoordinaten (m)</b>	<b>Abschnittslänge (m)</b>	<b>Beschrieb Perimeter</b>	<b>Gerinne</b>
1	16'520	0 – 325	325	Abschluss GAP – 100 m unterhalb Verkehrsvereinsbrücke	Oeschibach
2	20'980	325 – 1'125	800	100 m unterhalb Verkehrsvereinsbrücke - Tirolerwehr	Oeschibach
3	15'590	1'125 – 1'700	575	Tirolerwehr - Rinderstutzbrücke	Oeschibach
4	15'250	1'700 – 2'250	550	Rinderstutzbrücke – Zusammenfluss Chalberspissibäche	Oeschibach
5	5'500	2'250 – 2'500	250	Zusammenfluss Chalberspissibäche – Mitte Kegel	Üssere Chalberspissibach
6	9'420	2'500 – 2'825	325	Mitte Kegel – Kegelhals	Üssere Chalberspissibach
7	10'250	2'250 – 2'675	425	Zusammenfluss Chalberspissibäche – Mitte Kegel	Innere Chalberspissibach
8	9'230	2'675 – 2'900	225	Mitte Kegel – Kegelhals	Innere Chalberspissibach

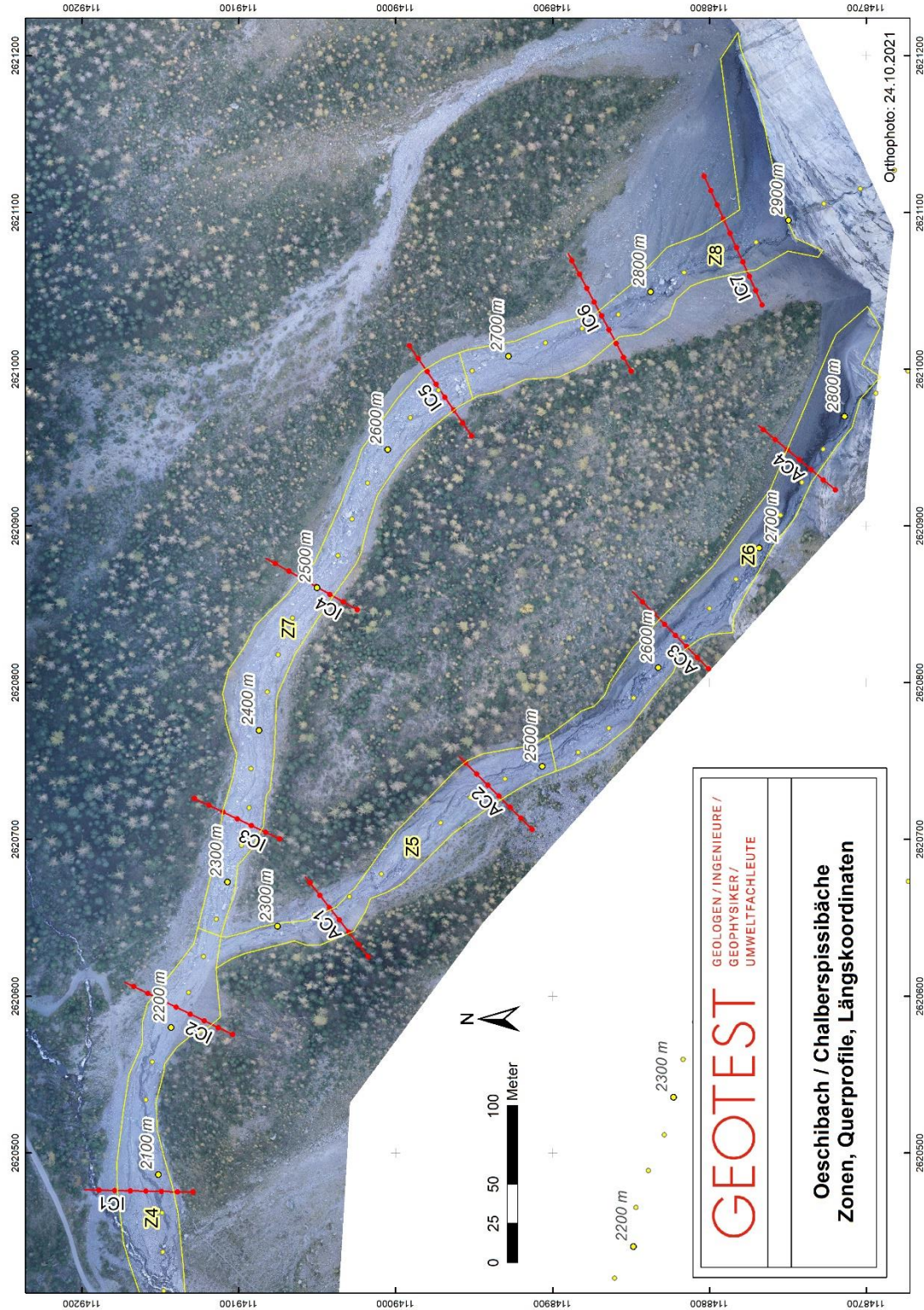












## Anhang 2 – Karten Höhenveränderungen / Geschiebebilanzen

Nachfolgend sind die Geschiebebilanzen für folgende Zeitperioden dargestellt:

- 04.09.2020 – 28.06.2021 (Gesamtgerinne)
- 28.06.2021 – 13.08.2021 (Gesamtgerinne)
- 13.08.2021 – 24.10.2021 (Gesamtgerinne)
  
- 04.09.2020 – 24.04.2021 (GAP – Skibrücke)
- 24.04.2021 – 28.06.2021 (GAP – Skibrücke)
  
- 04.09.2020 – 24.10.2021 (Bilanz 2020 – 2021 Gesamtgerinne)
  
- 04.09.2020 – 01.10.2021 (Bilanz 2020 – 2021 Rutschung Spitze Stei)

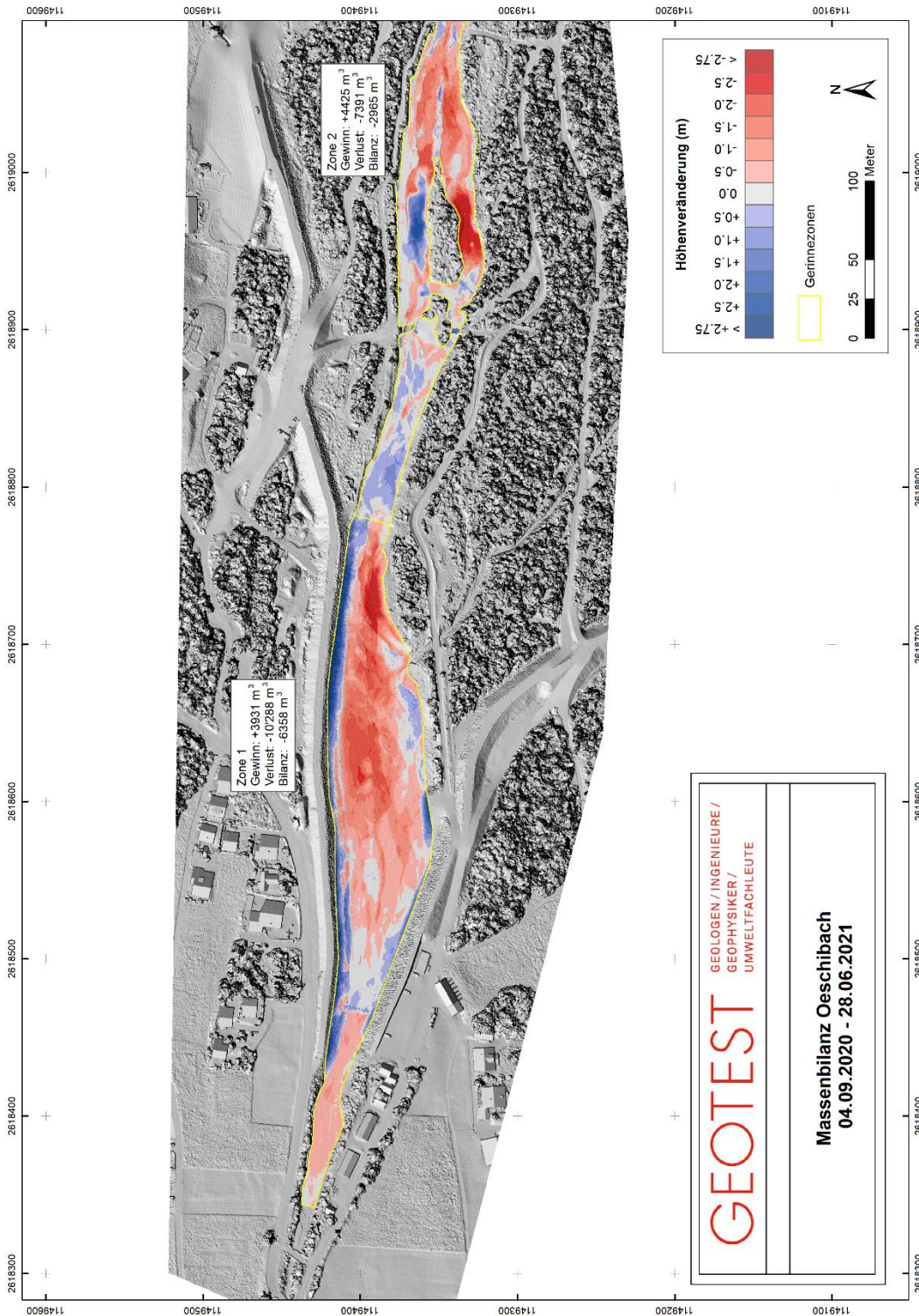
Der Gerinnebereich ab GAP wird mit vier Kartenblättern abgedeckt. Geschiebebilanzen sind für insgesamt acht Zonen berechnet. Vier Zonen decken das Gerinne des Oeschibaches ab, je zwei Zonen die Gerinne der beiden Chalberspissibäche. Pro Gerinnezone (in den Karten gelb umrandet) werden zusätzlich zur Geschiebebilanz die summierten Höhengewinne und -verluste separat ausgewiesen. Die beiden Grössen quantifizieren die Geschiebeumlagerungen innerhalb der Zonen.

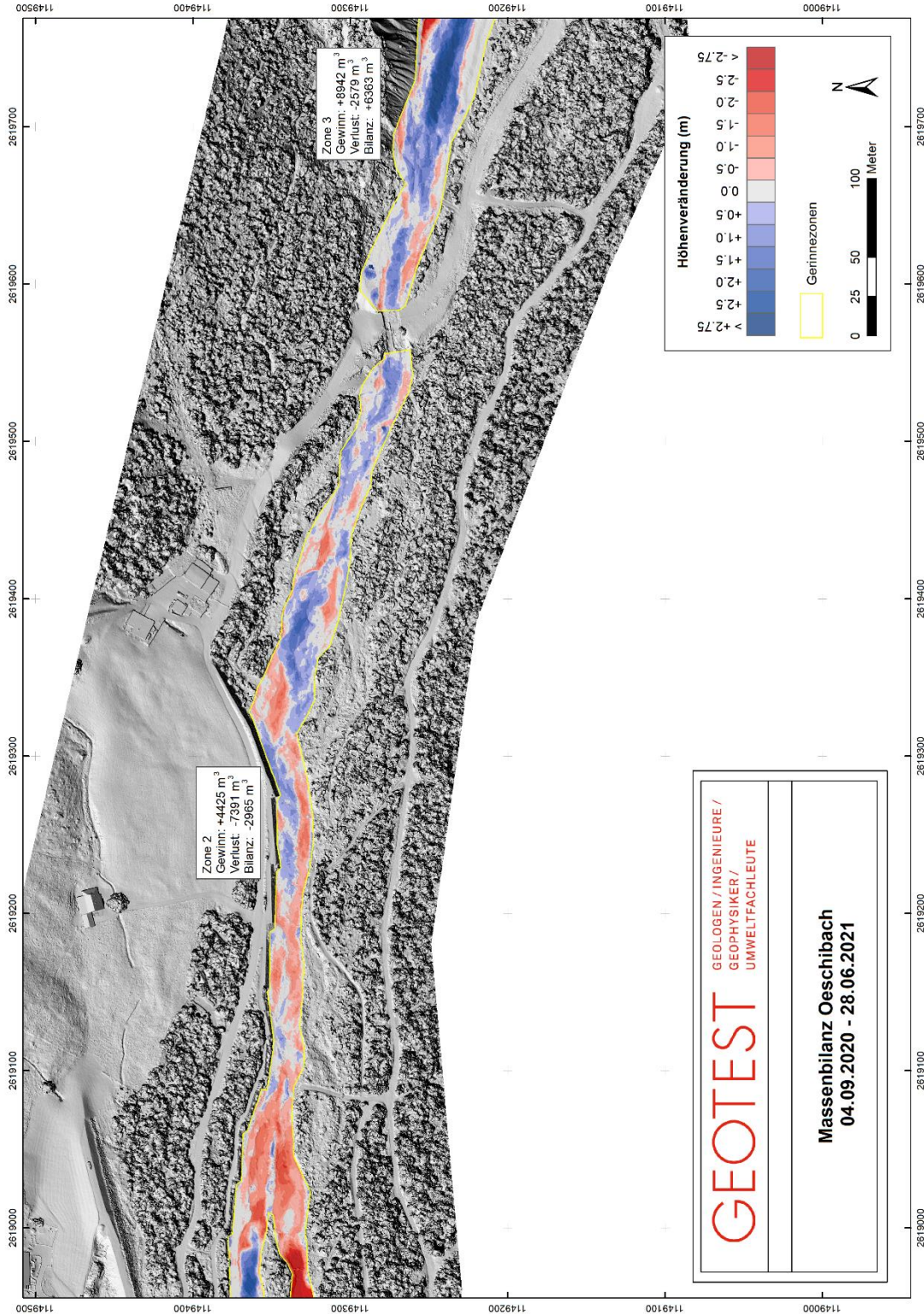
Geschiebebilanzen in den Zonen 9 und 10 (Rutschung Spitze Stei) wurden nur für den Zeitraum 2020 – 2021 bestimmt.

Karten mit den Vergleichen 2013 – 2019 – 2020 sind in Bericht [1] einsehbar.

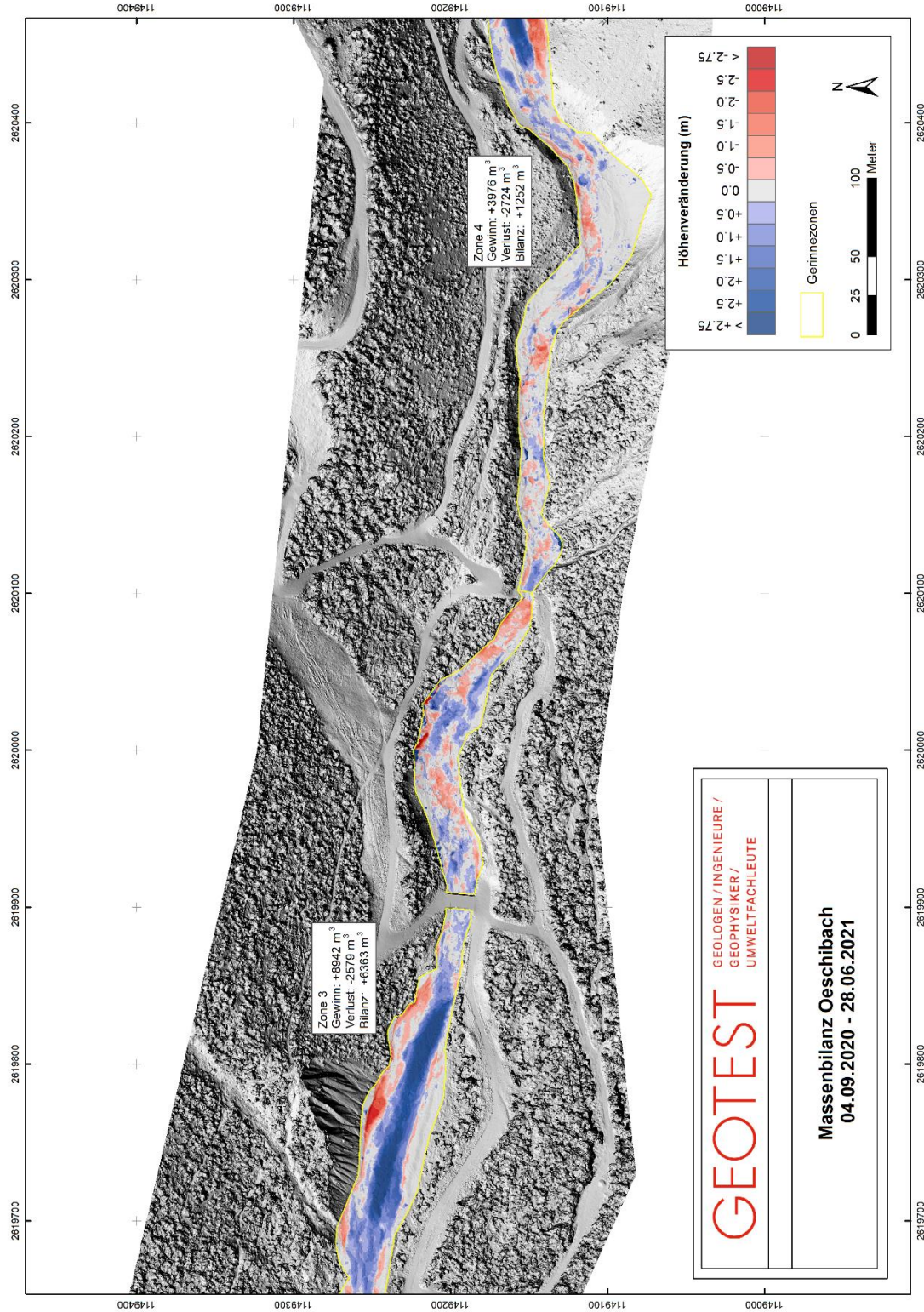


**04.09.2020 – 28.06.2021 (Gesamtgerinne)**

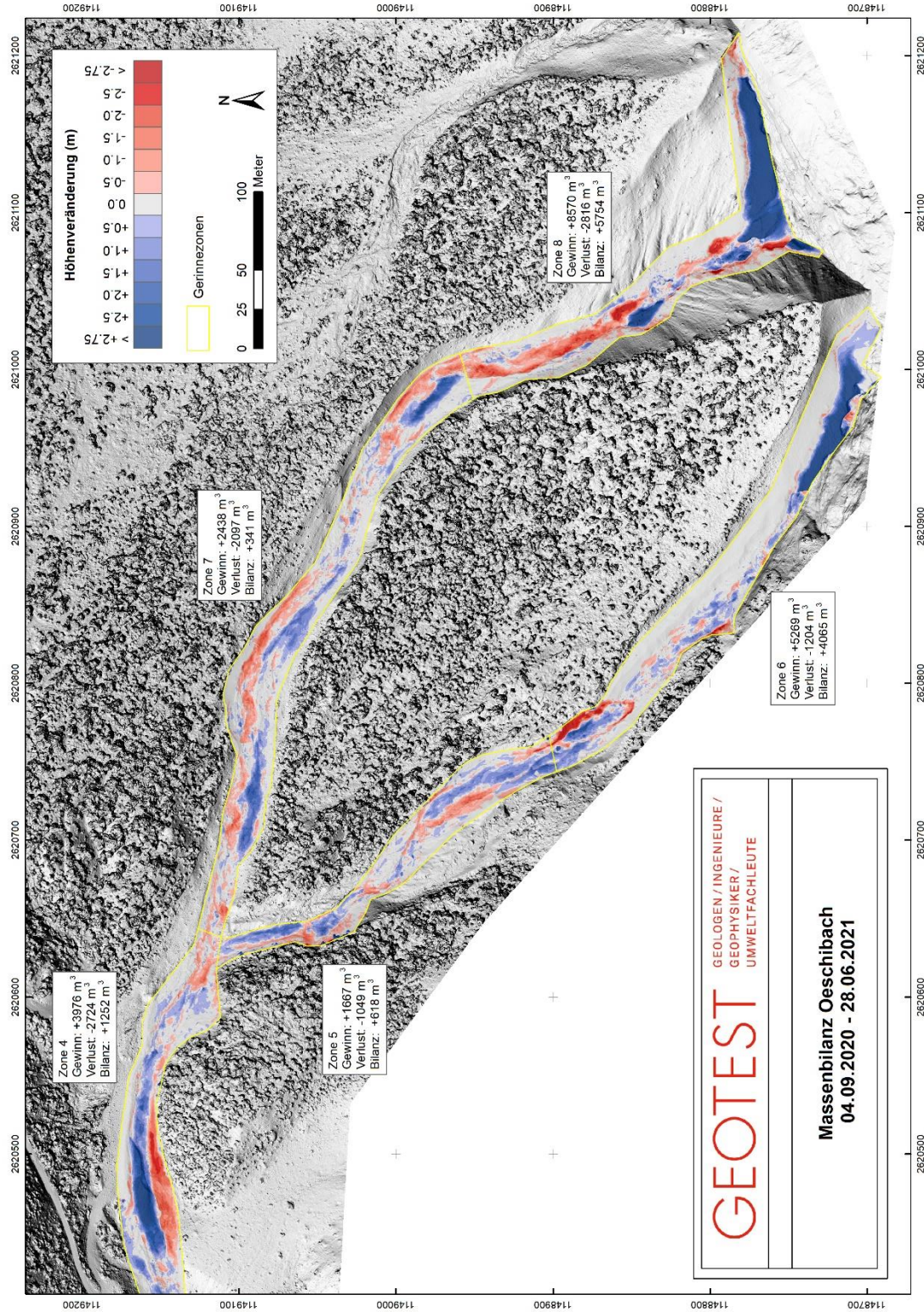






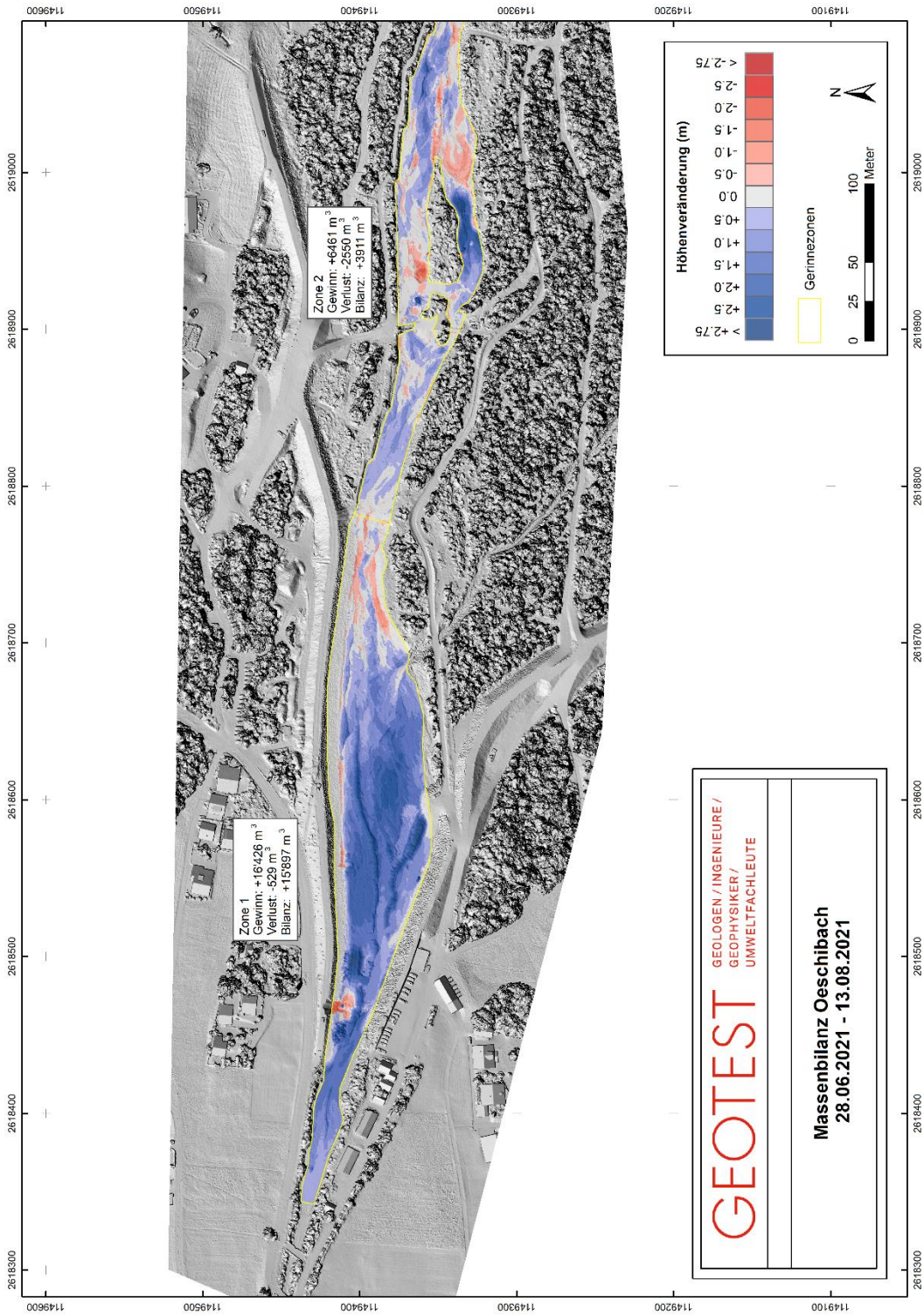


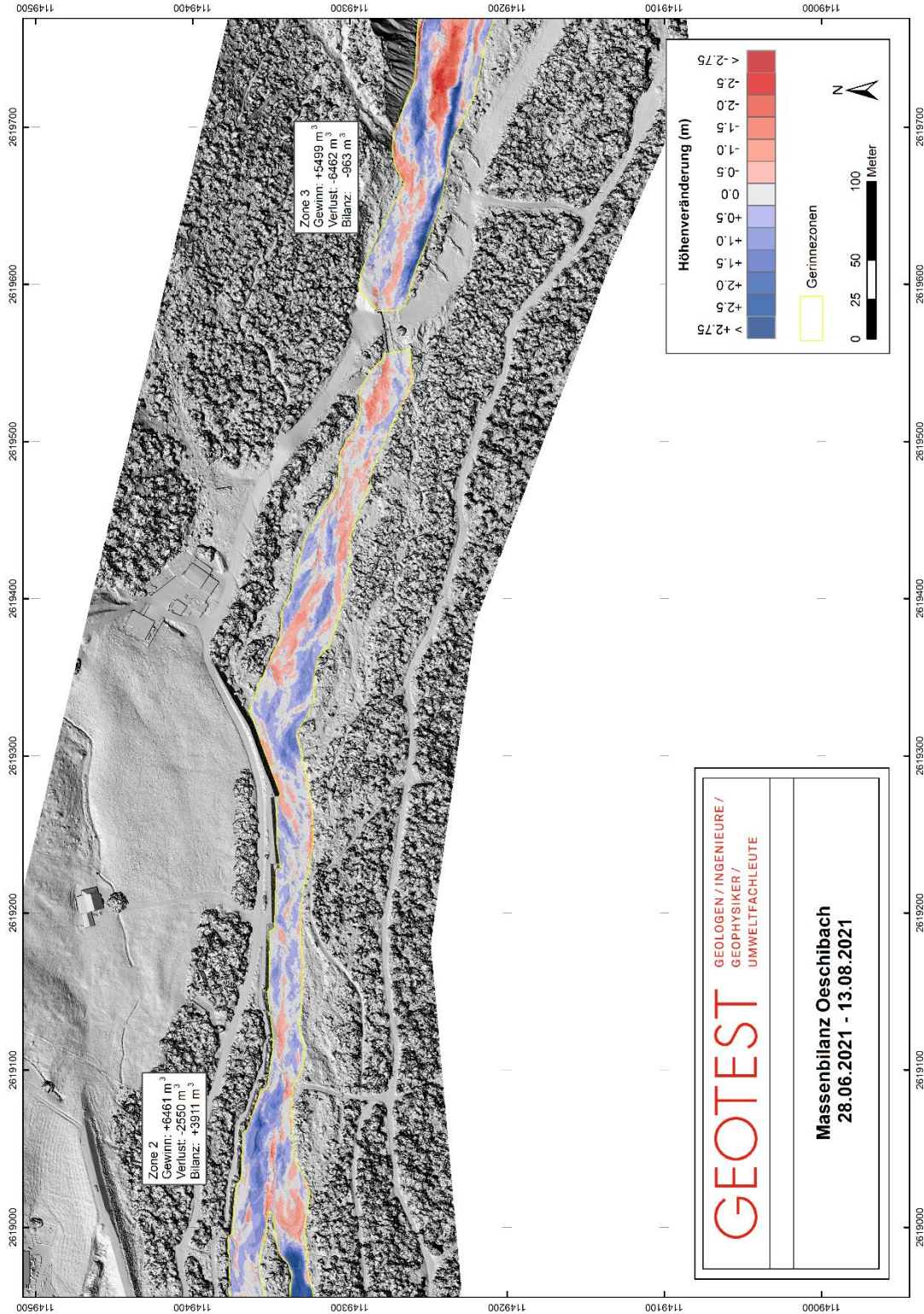




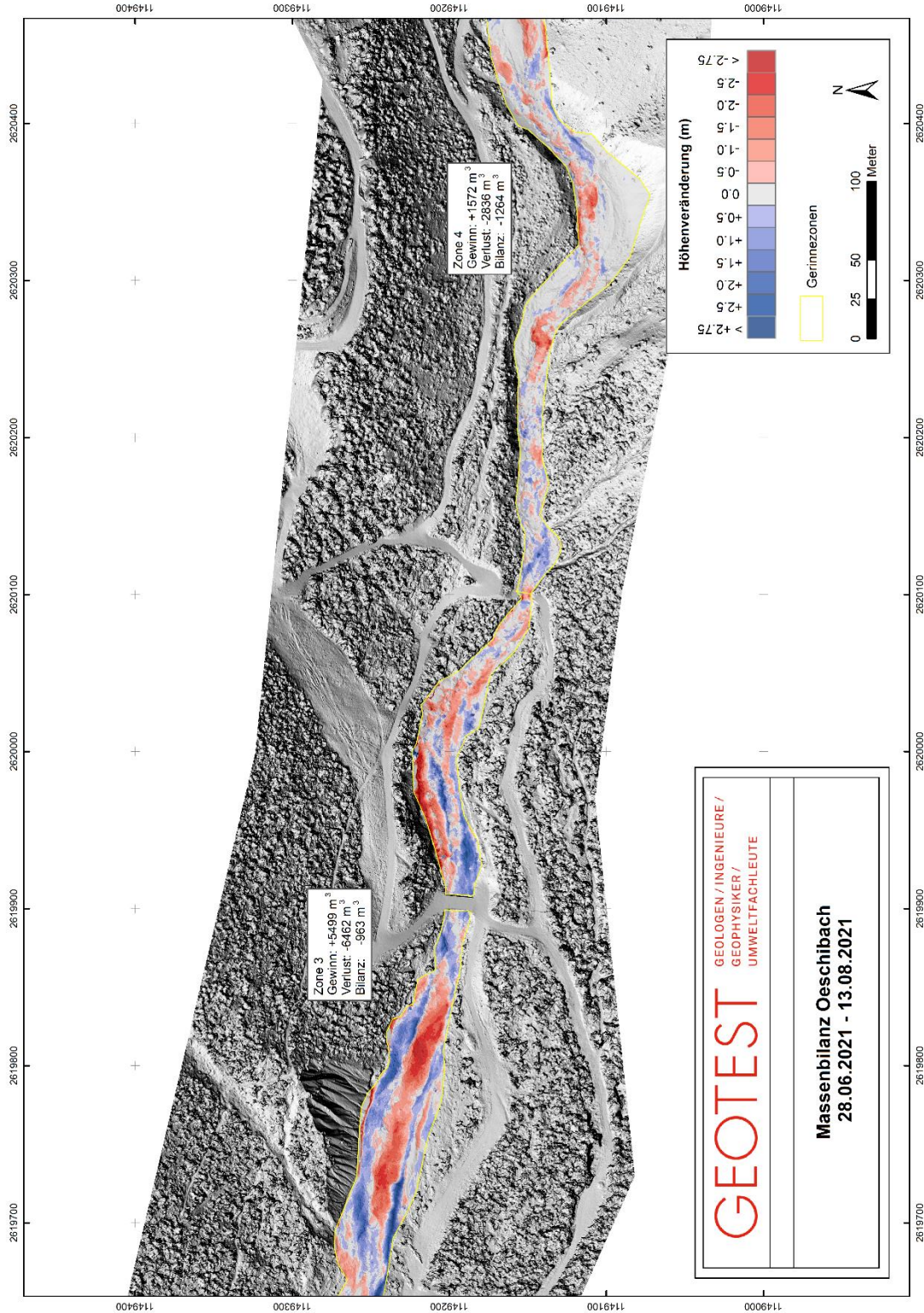


**28.06.2021 – 13.08.2021 (Gesamtgerinne)**

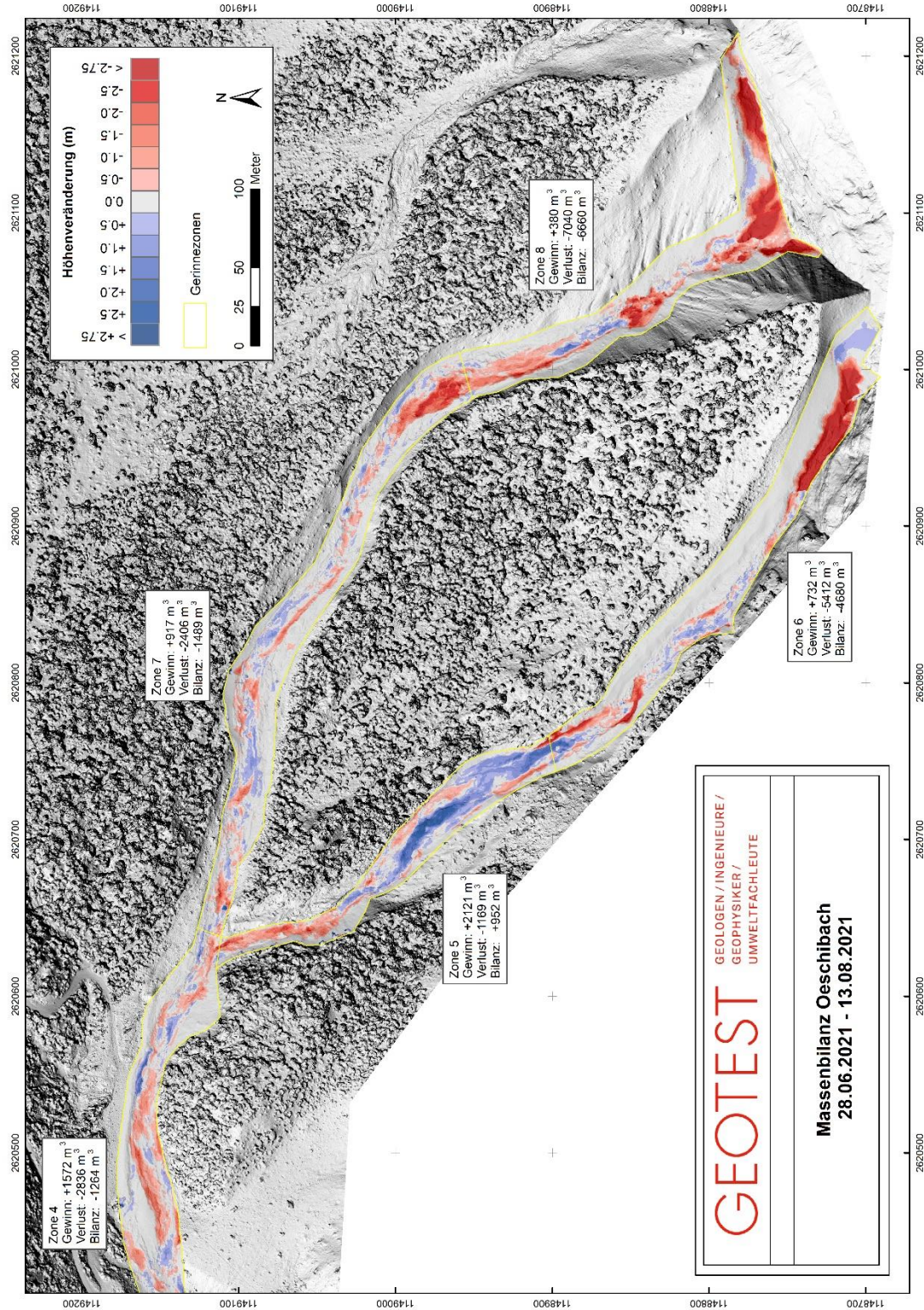






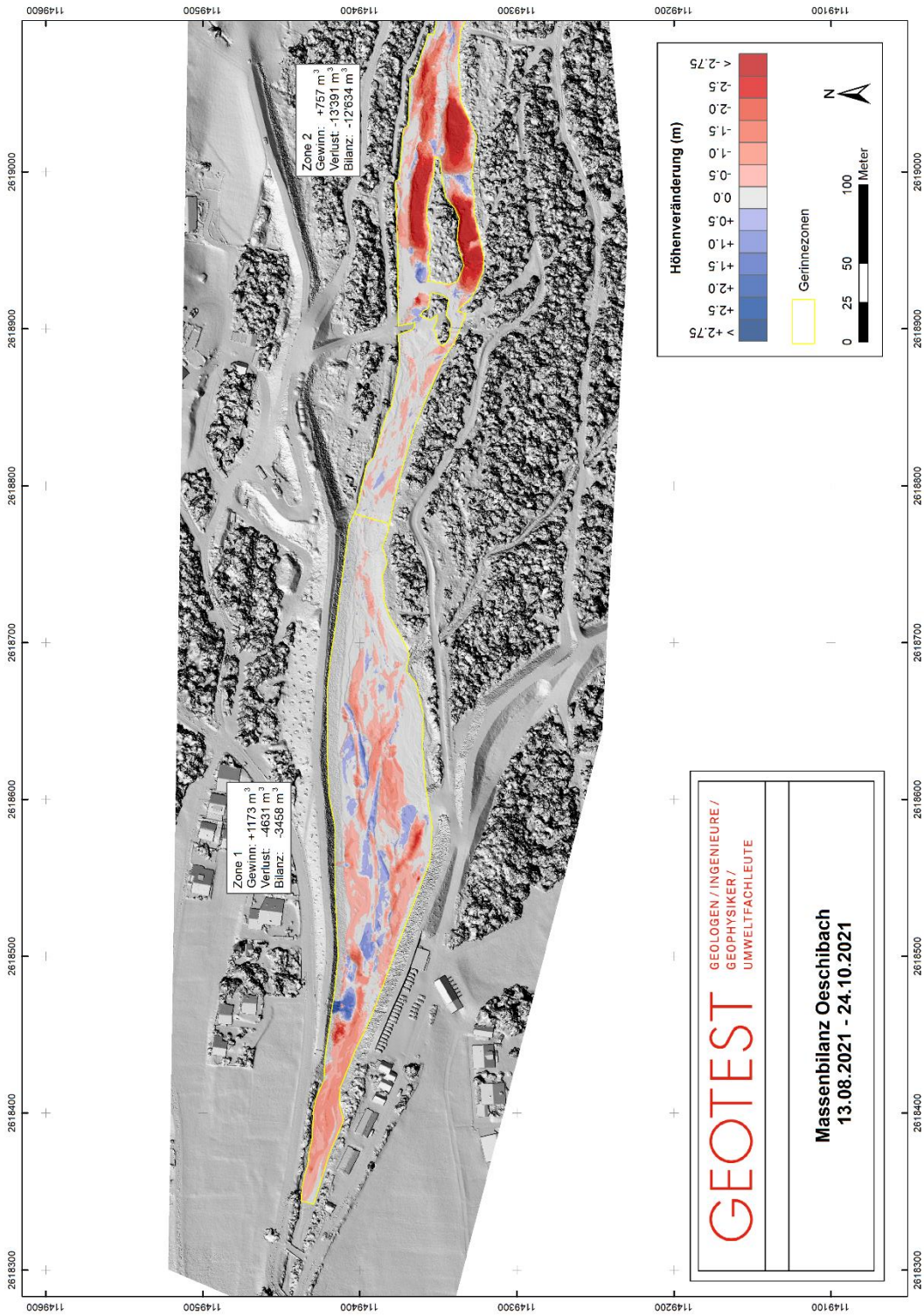


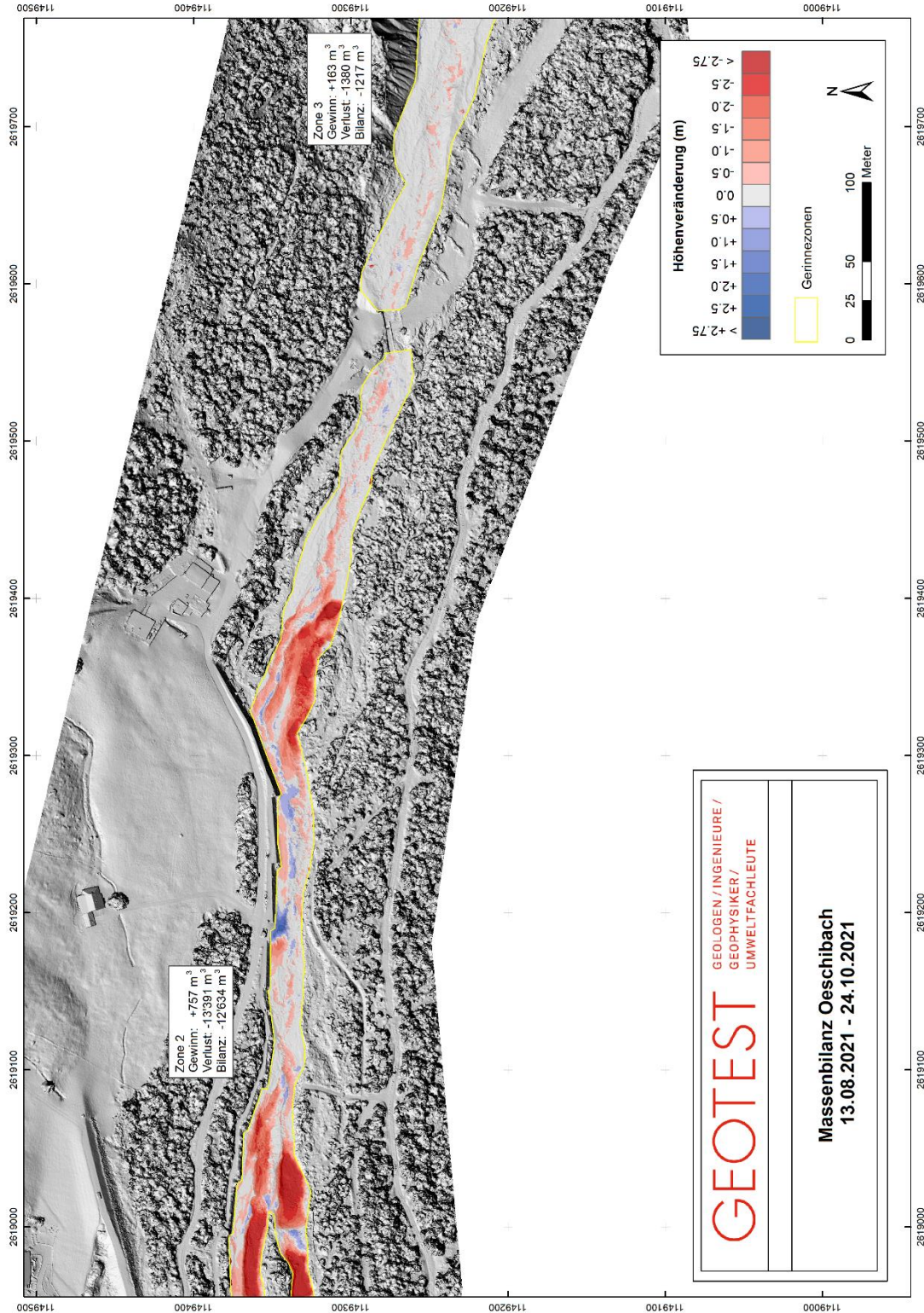




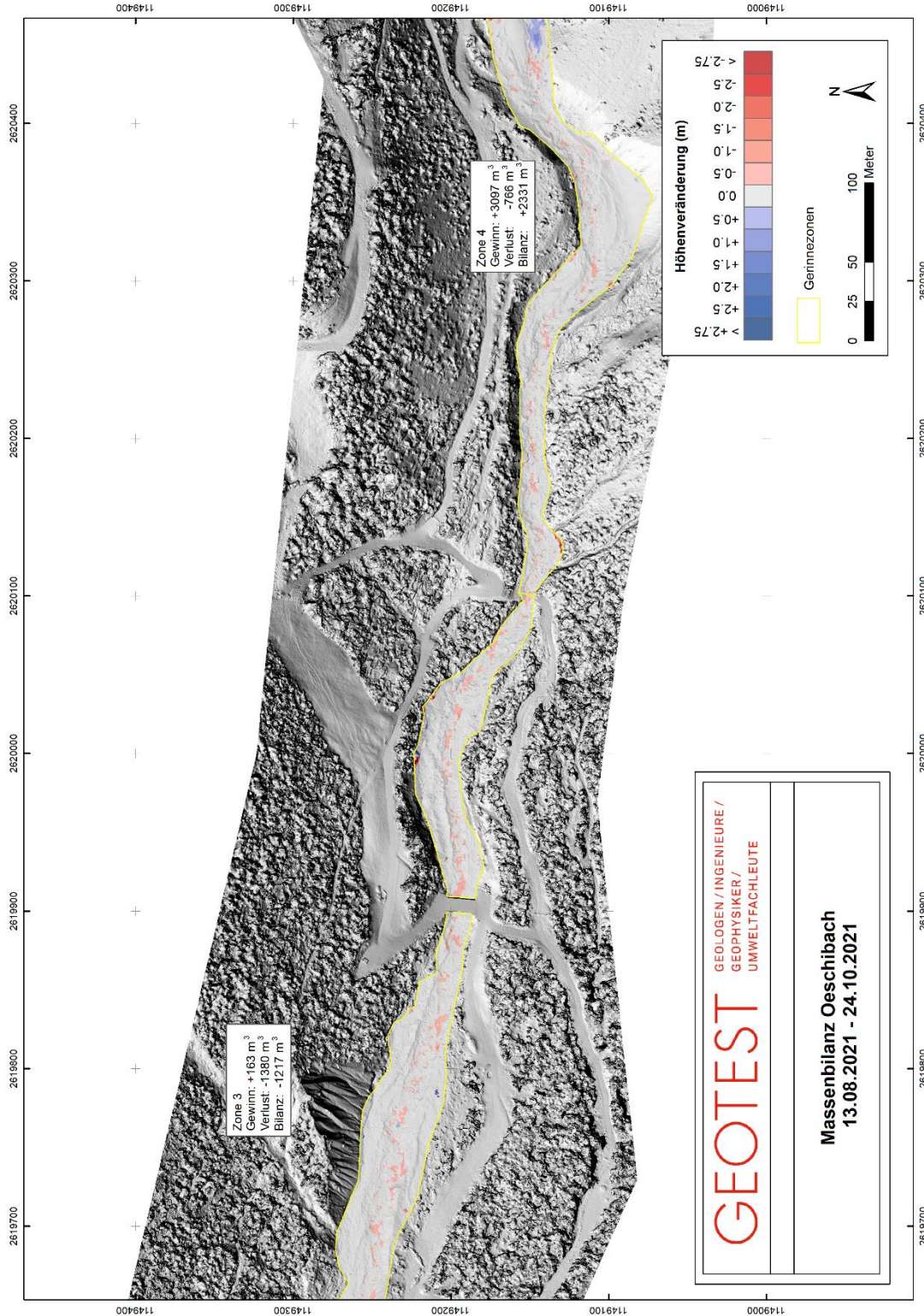


**13.08.2021 – 24.10.2021 (Gesamtgerinne)**

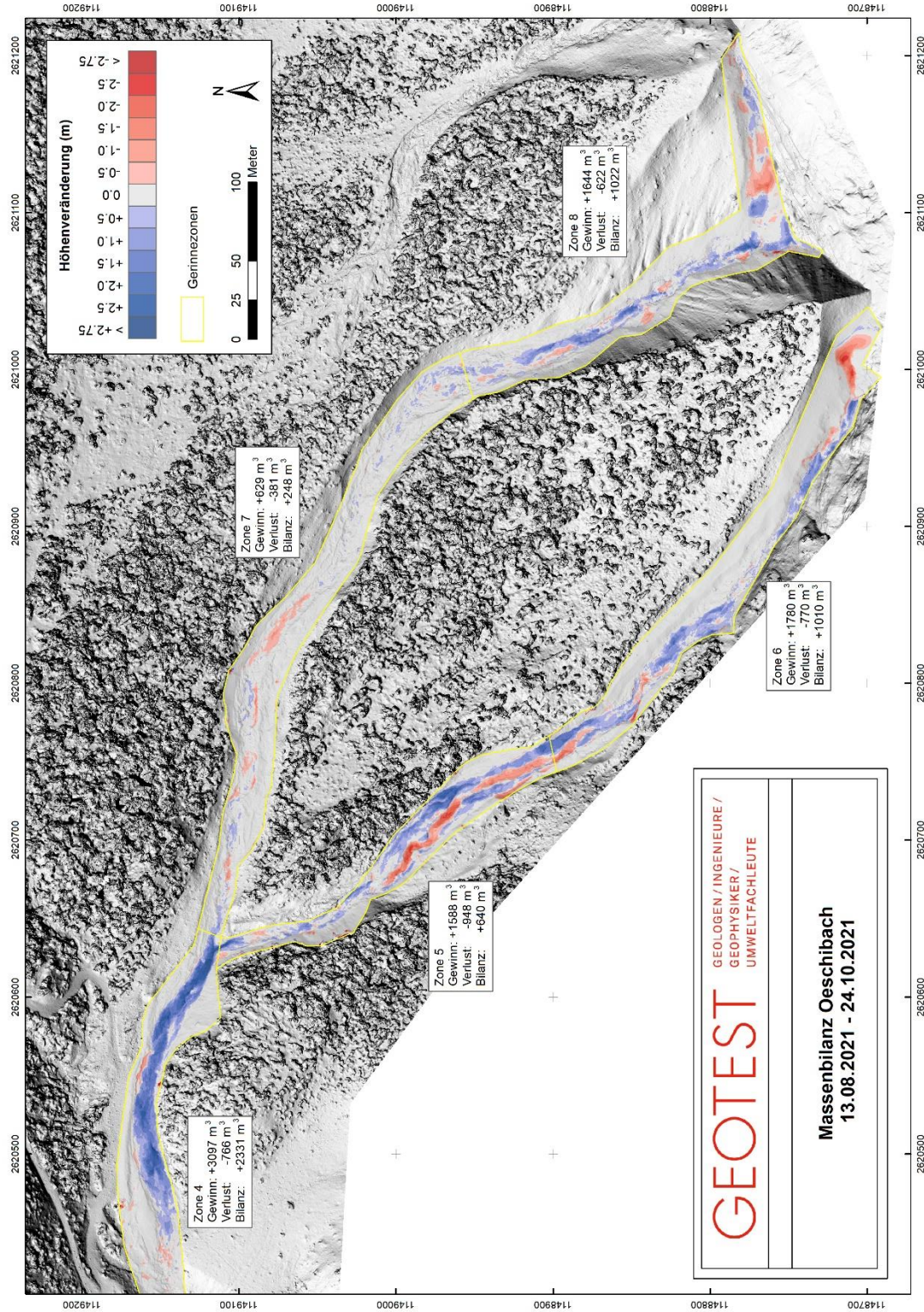






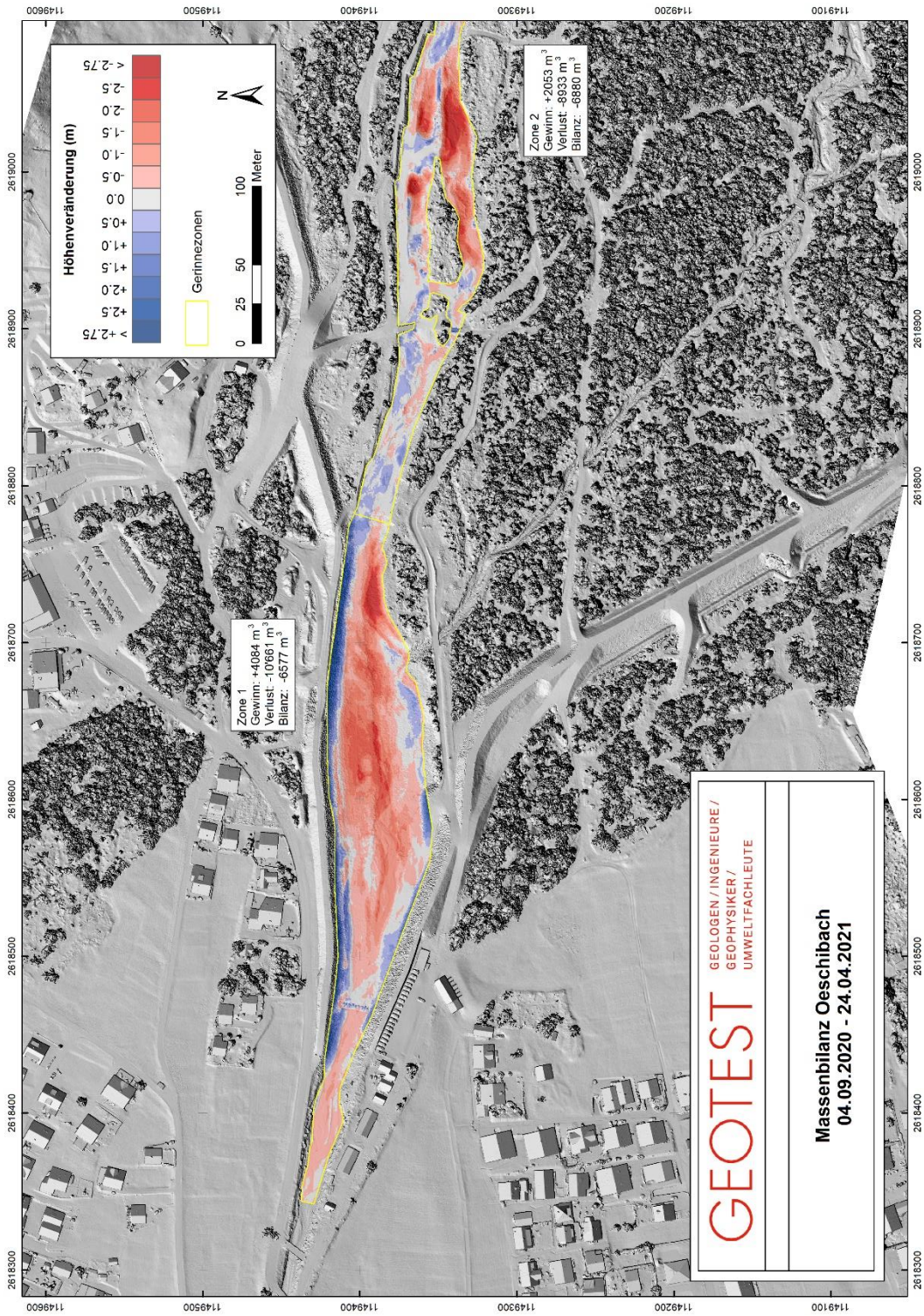




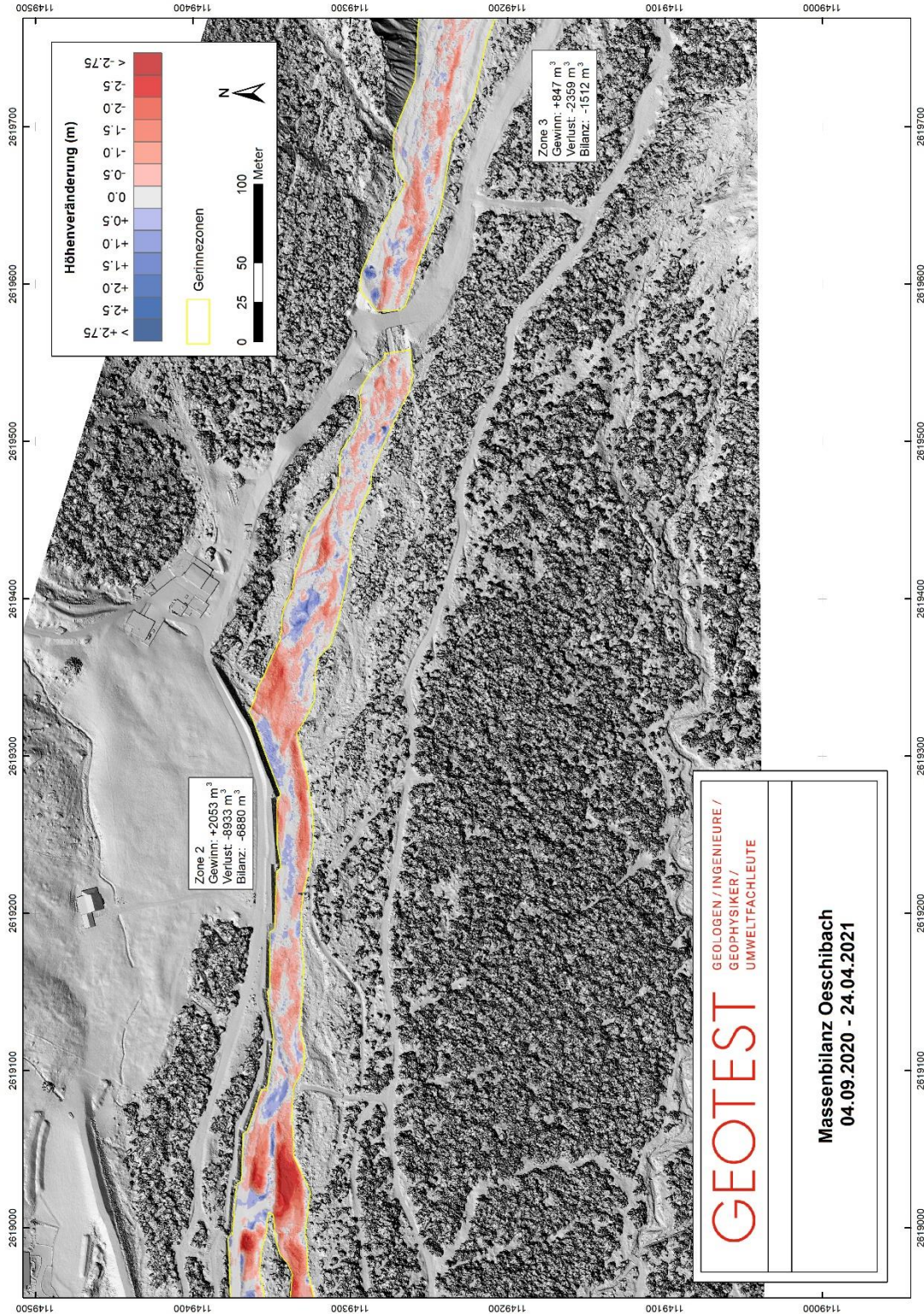


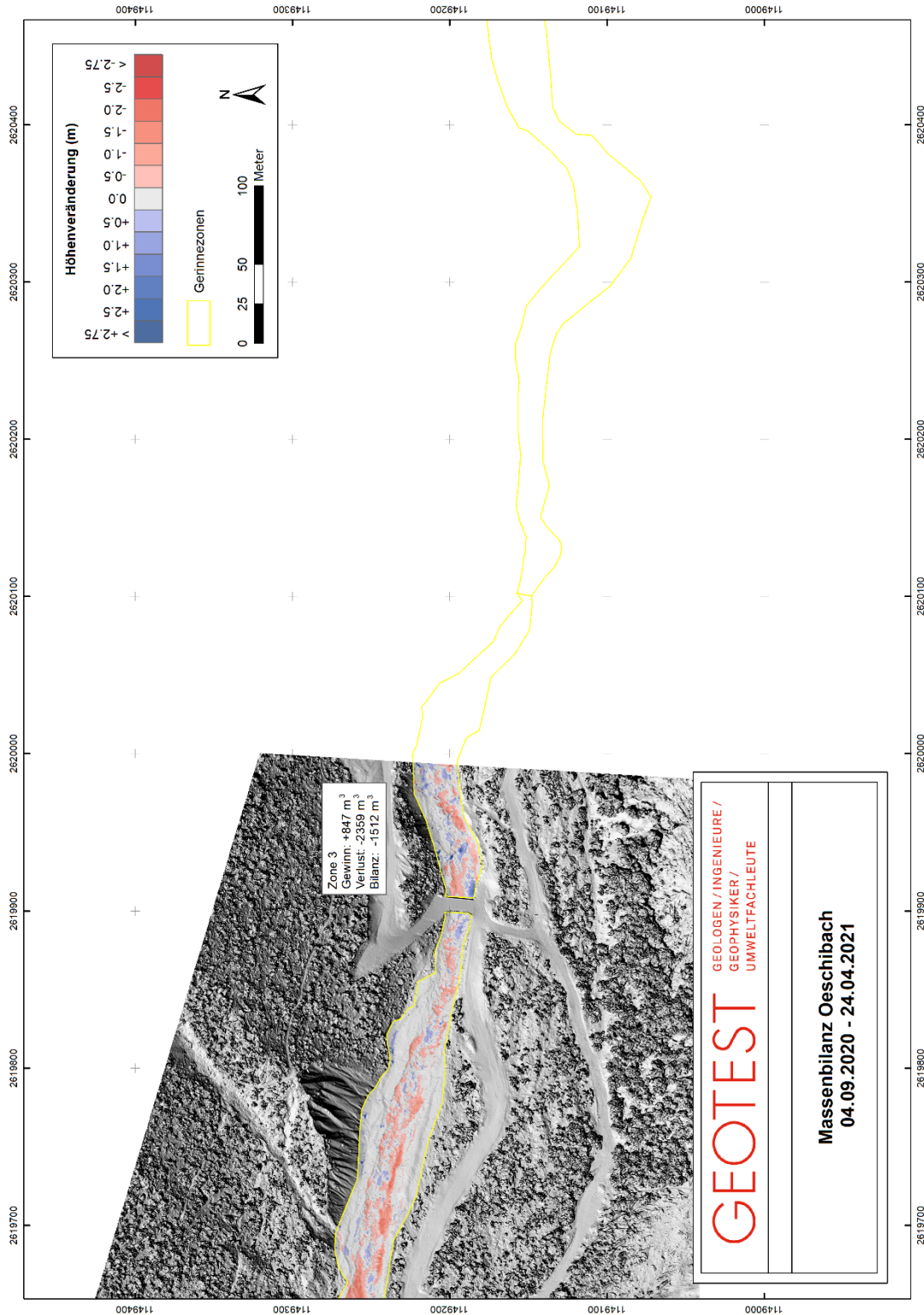


**04.09.2020 – 24.04.2021 (GAP – Skibrücke)**



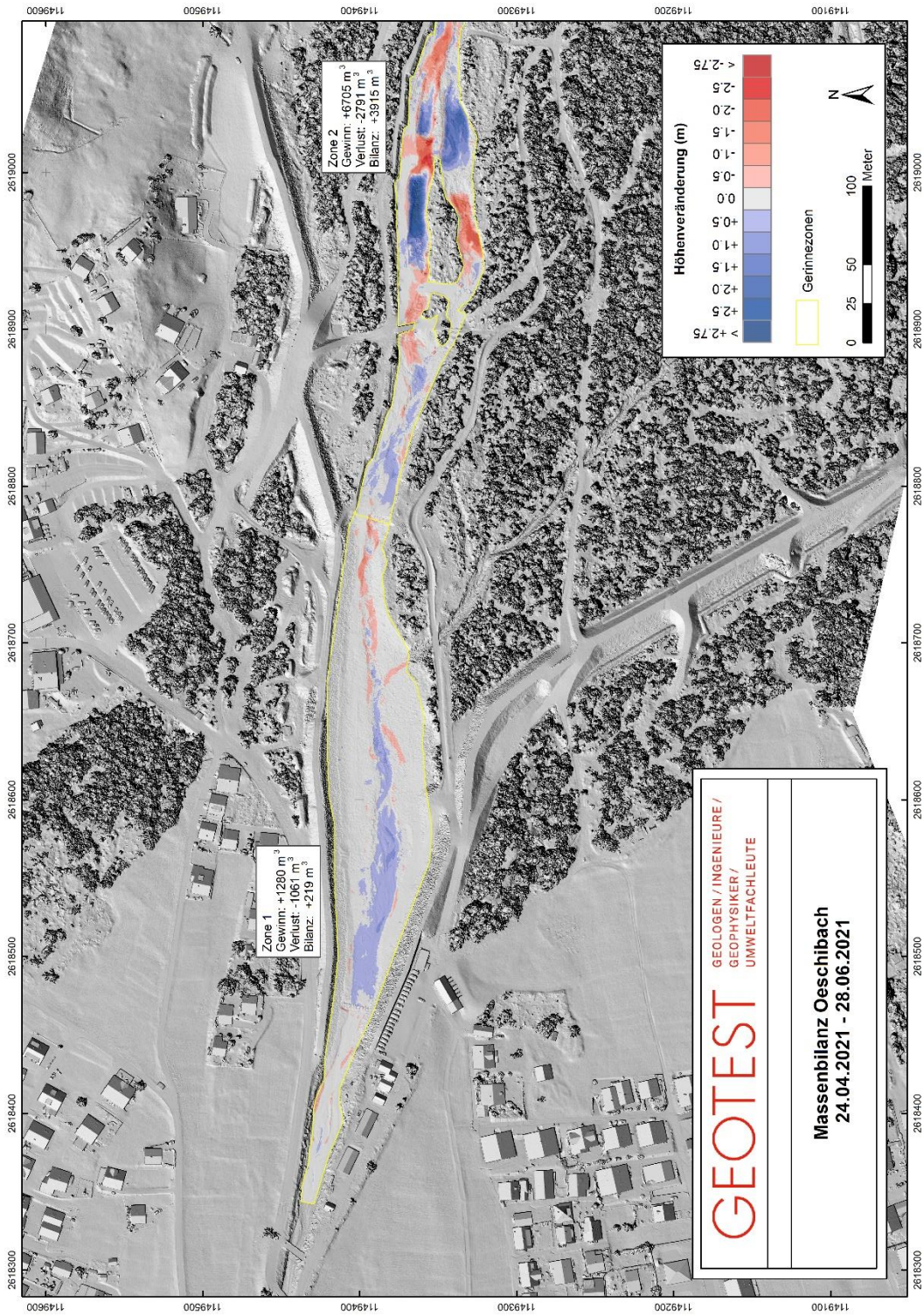




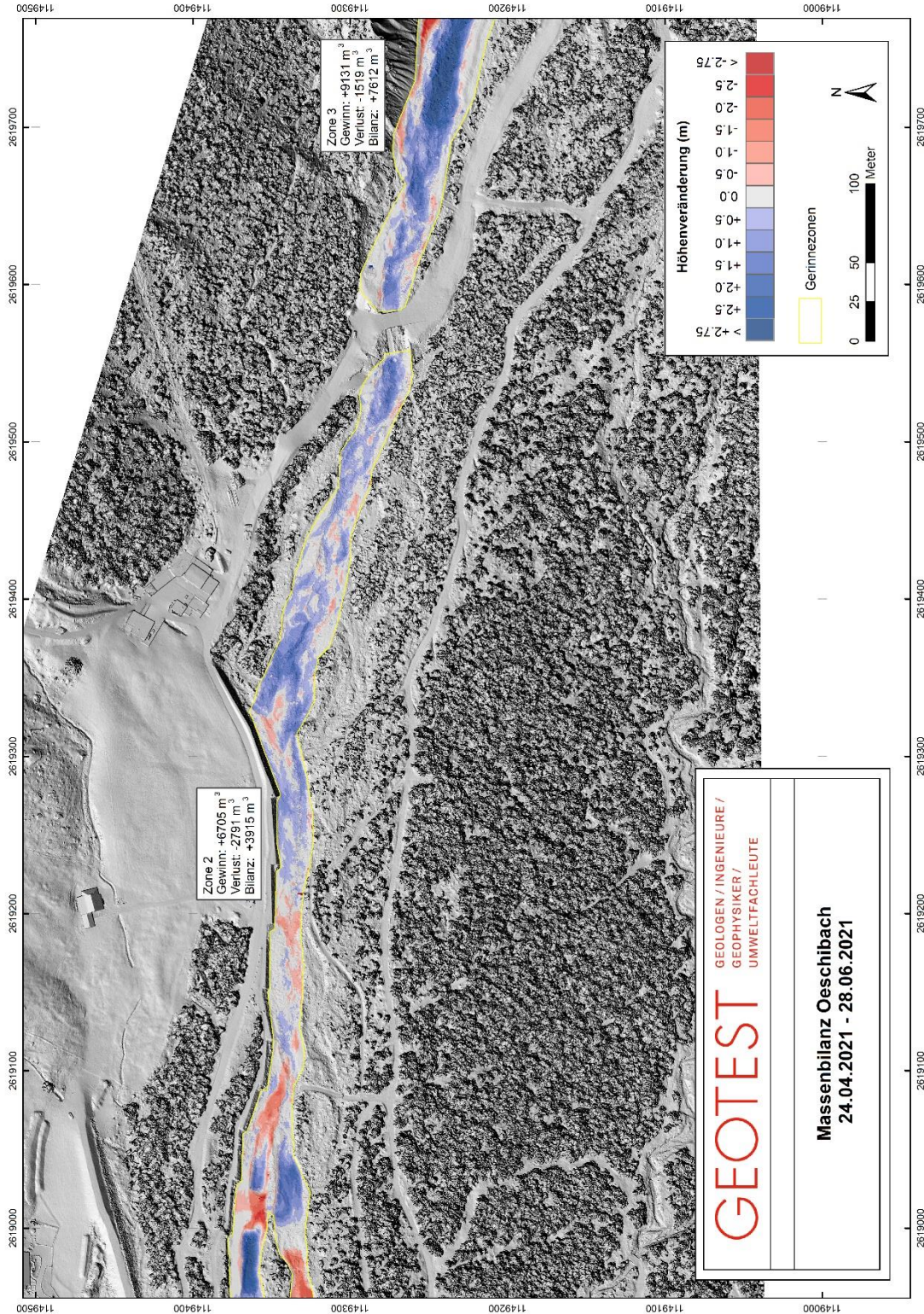


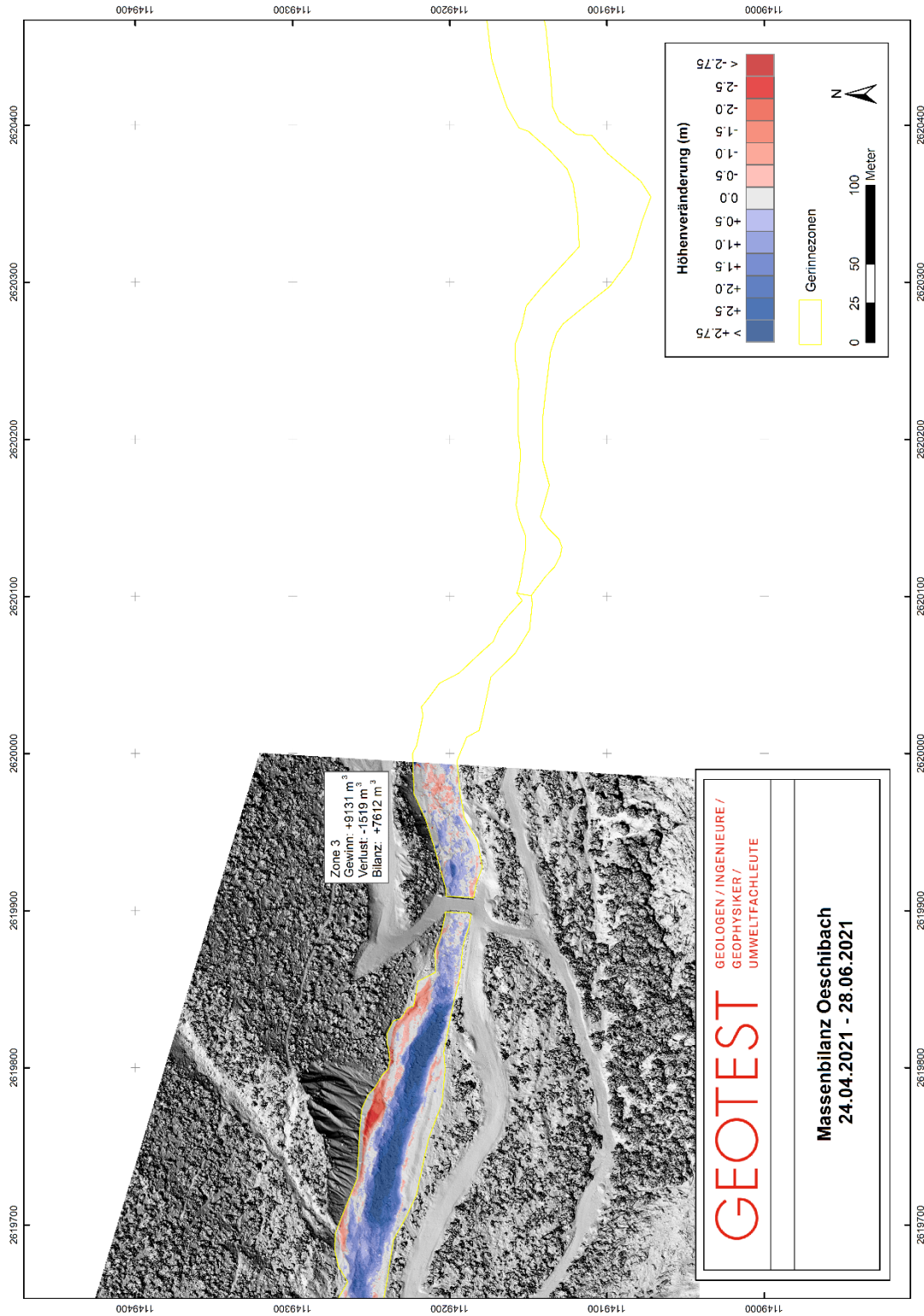


**24.04.2021 – 28.06.2021 (GAP – Skibrücke)**



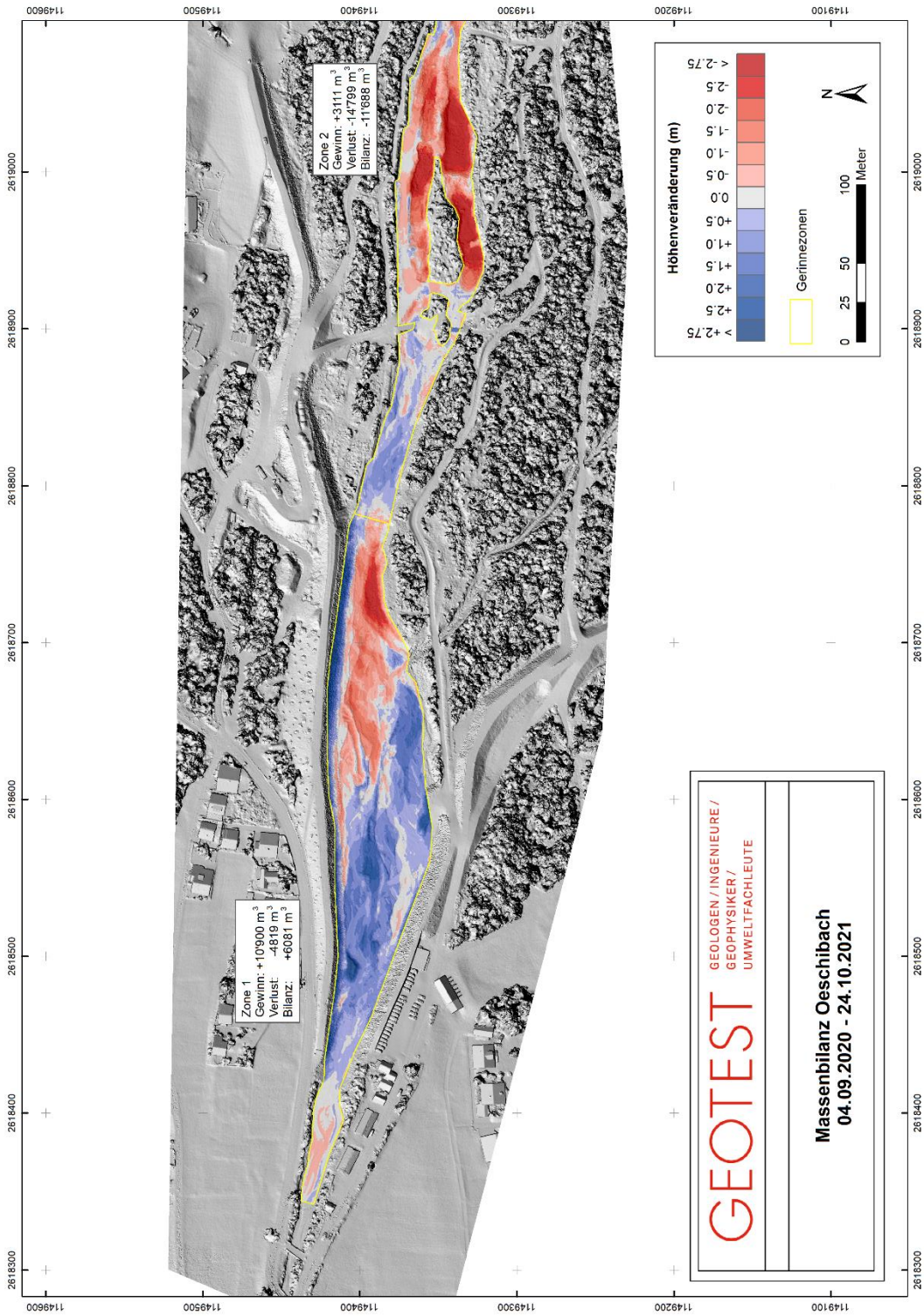


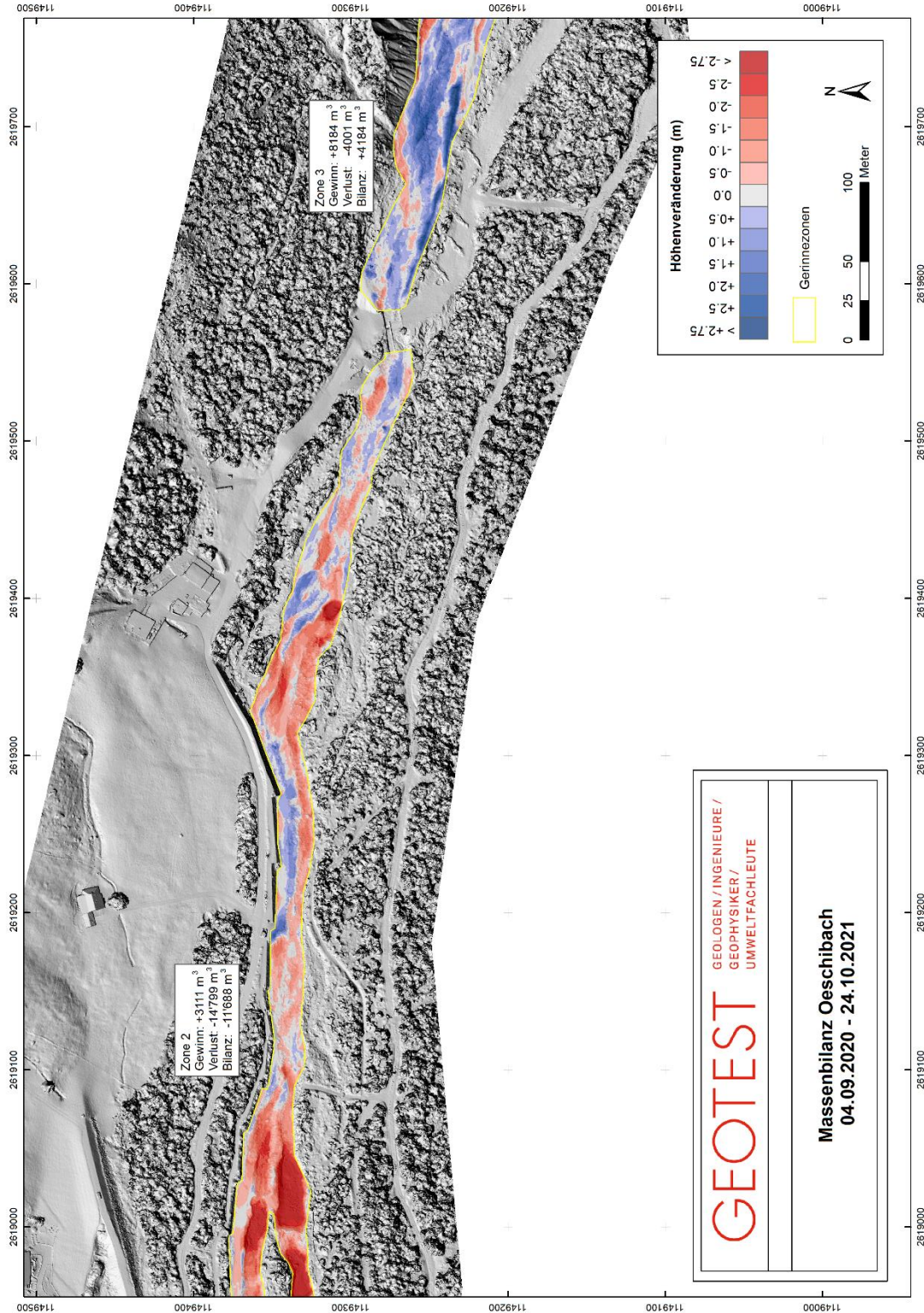




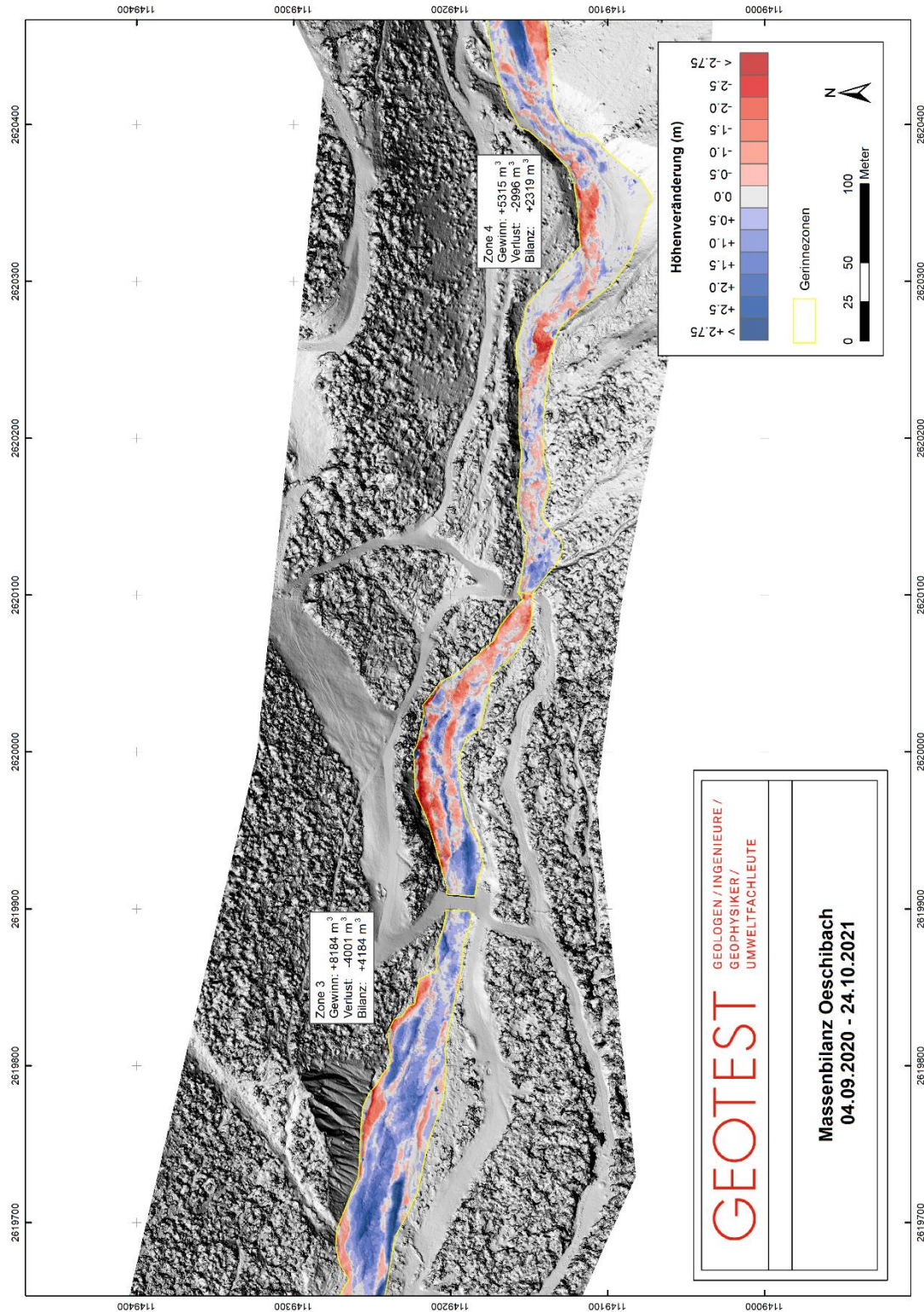


**04.09.2020 – 24.10.2021 (Gesamtgerinne)**

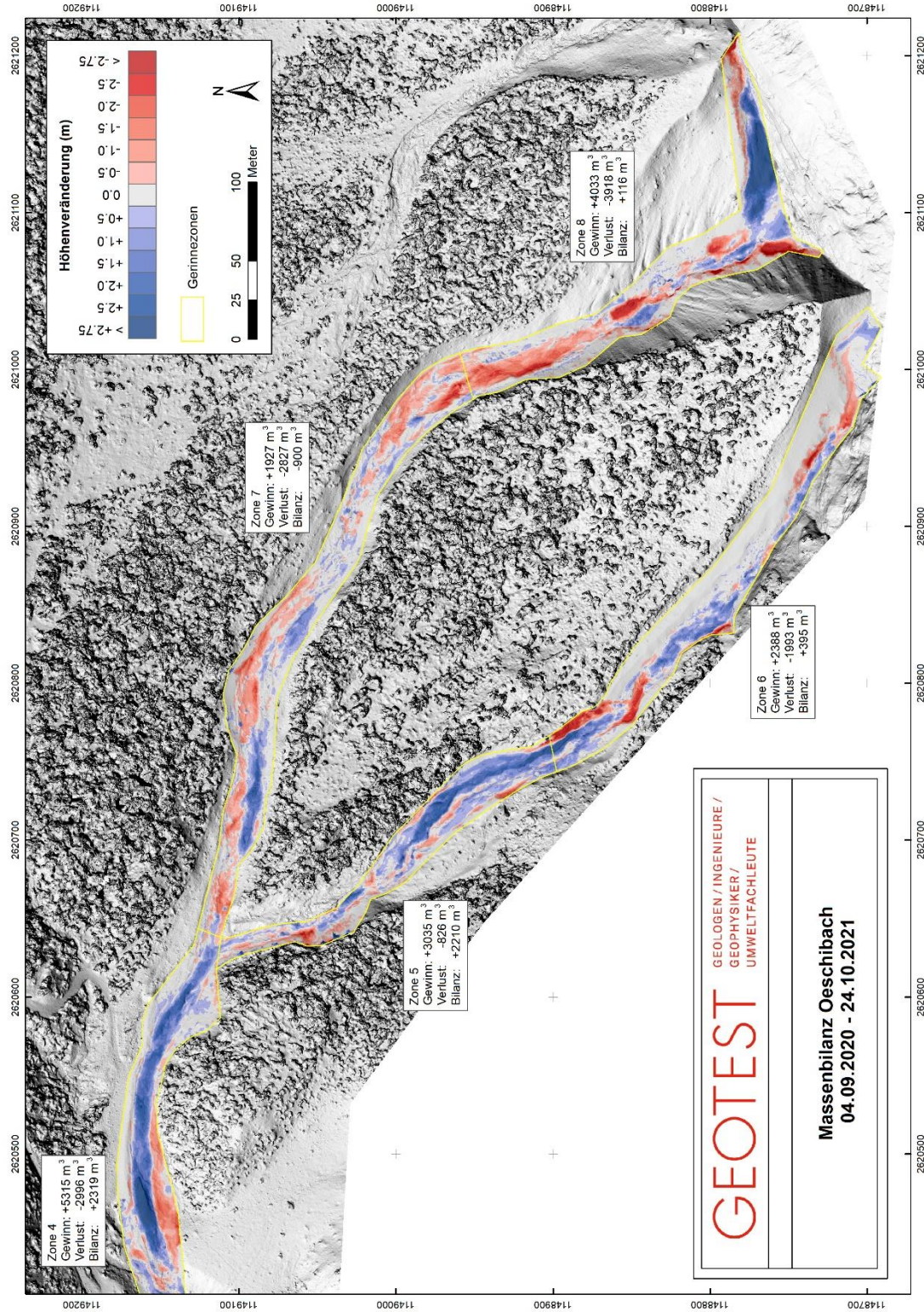






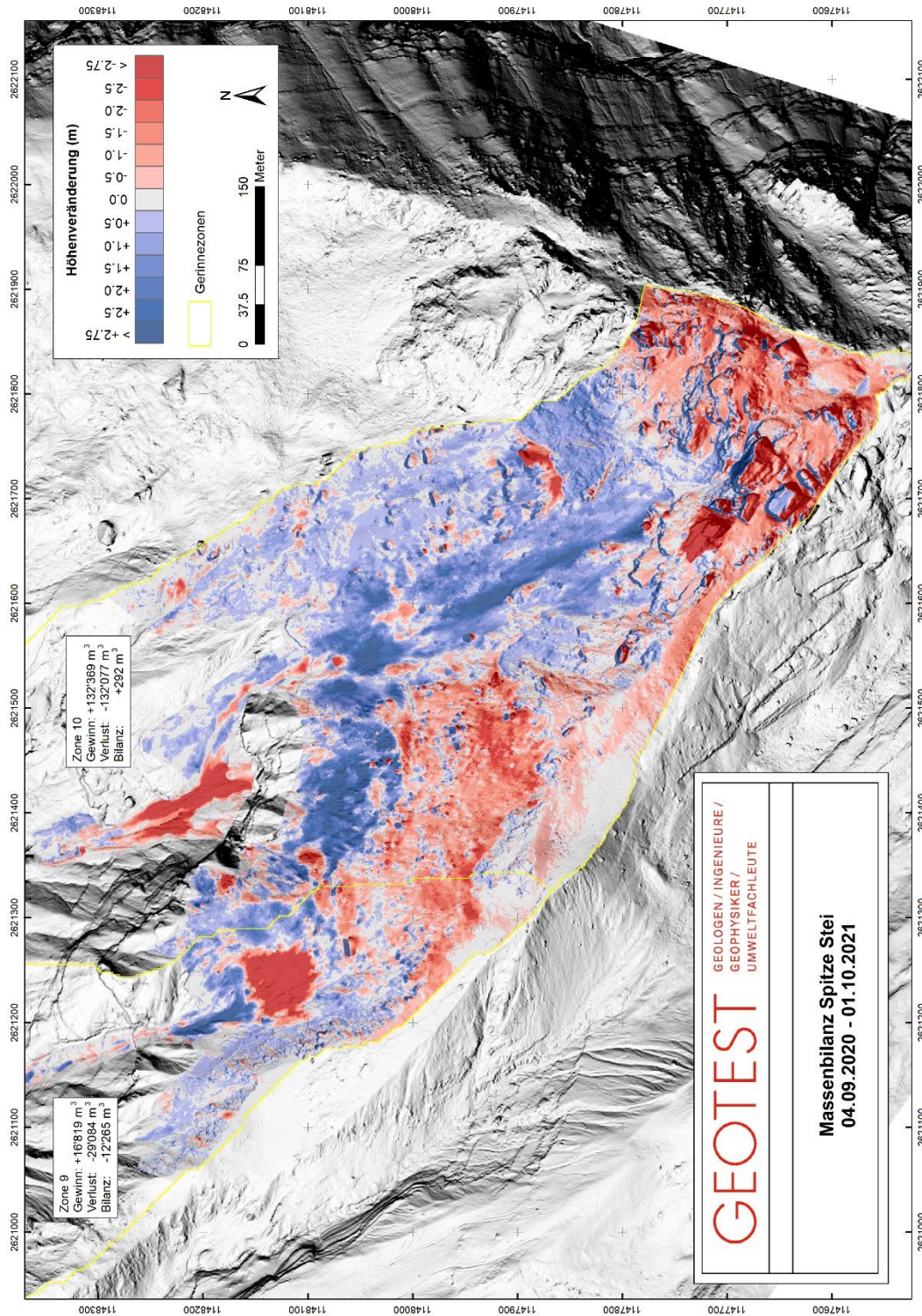








**04.09.2020 – 01.10.2021 (Spitze Stei)**





## Anhang 3 – Interpretation Höhenveränderungen / Geschiebebilanzen

### 5.1.1 Zone 1 (Abschluss GAP – 100 m unterhalb Verkehrsvereinsbrücke)

#### 5.1.1.1 2013 – 2020

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
08.2013 – 10.2019	+15'740	+0.95	- Sohlenauflandung bei geringen bzw. gänzlich ausbleibenden Baggerungen.
10.2019 – 04.09.2020	-23'540	-1.42	- Umfangreiche Geschiebeentnahmen im Rahmen der Bauarbeiten GAP. - Geschiebeentnahme innerhalb eines Jahres übersteigt Akkumulation der vorangegangenen sechs Jahre deutlich.

#### 5.1.1.2 2020 – 2021

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
04.09.2020 – 24.04.2021 (232 Tage)	-6'577	-0.40	- Negative Bilanz infolge fortgeführter Baggerarbeiten / Geschiebeaustag in Richtung Kander. - Geschiebenachschub aus höheren Gerinnezonen gering. Kaum geschiebereicher Abfluss und keine Murgänge in der Periode (Winterhalbjahr).
24.04.2021 – 28.06.2021 (65 Tage)	+219	+0.01	- Geschiebebilanz ca. ausgeglichen. - Geringer Geschiebeeintrag trotz hoher Murgangaktivität in den Chalberspissibächen ab dem 22.06. [5]. - Keine grösseren Baggerarbeiten in Zone 1.

28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)	+15'897	+0.96	- Umfangreicher Geschiebeeintrag und daher stark positive Bilanz als Folge der Murschübe der Periode 22.06. – 09.07. [5]. Geschiebeeintrag teilweise um einige Tage verzögert (Remobilisierung von Murgangablagerungen aus dem mittleren Gerinnebereich). - Keine grösseren Baggerarbeiten in Zone 1.
13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)	-3'458	-0.21	- Negative Bilanz infolge Baggerarbeiten / Geschiebeaustrag in Richtung Kander. - Geringer Geschiebeeintrag aufgrund reduzierter Wildbachaktivität.
Zone 1 total 2020 – 2021	+6'081	+0.37	

## 5.1.2 Zone 2 (100 m unterhalb Verkehrsvereinsbrücke – Tirolerwehr)

### 5.1.2.1 2013 – 2020

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
08.2013 – 10.2019	+1'150	+0.05	- Geschiebebilanz ca. ausgeglichen.
10.2019 – 04.09.2020	+220	+0.01	- Geschiebebilanz ca. ausgeglichen.

### 5.1.2.2 2020 – 2021

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
04.09.2020 – 24.04.2021 (232 Tage)	-6'880	-0.33	- Negative Bilanz infolge Baggerarbeiten (Fokus Ausbaggerungen um Koordinate 500 m) und genereller Sohlenabsenkung während der Wintermonate.

24.04.2021 – 28.06.2021 (65 Tage)	+3'915	+0.19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Positive Bilanz trotz fortgeführter Baggerarbeiten.</li> <li>- Deutliche Ablagerungen (0.5 m bis 1 m mächtig) der Murschübe aus den Chalberspissibächen reichen vom Tirolerwehr (oberster Bereich Zone 2) bis zu Koordinate 750 m unterhalb Kraftwerk Zilfuri (Annotation 1 in Abbildung 11), in Übereinstimmung mit Feldbeobachtungen während Ereignissen ab dem 22. Juni.</li> <li>- Die in der Vorperiode ausgebagerten Bereiche um Koordinate 500 m wurden durch geschiebereichen Abfluss rückgefüllt (Annotation 2 in Abbildung 11). U.a. dadurch gelangten noch keine grösseren Geschiebemenen gerinneabwärts bis in Zone 1.</li> </ul>
28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)	+3'911	+0.19	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Positive Bilanz als Folge der Murschübe der Periode 22.06. – 09.07.</li> <li>- Weiterhin teilweise Rückverfüllung früher ausgebagter Bereiche um Koordinate 500 m.</li> <li>- Im Vergleich zur Vorperiode wurden grössere Geschiebekubaturen durch Zone 2 transportiert und erst in Zone 1 abgelagert.</li> </ul>
13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)	-12'634	-0.60	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stark negative Bilanz infolge umfangreicher Baggerarbeiten um Koordinaten 500 m und 900 m (Höhe Kraftwerk Zilfuri).</li> </ul>
Zone 2 total 2020 – 2021	-11'688	-0.56	



### 5.1.3 Zone 3 (Tirolerwehr – Rinderstutzbrücke)

#### 5.1.3.1 2013 – 2020

Periode	Geschiebebilanz (m³)	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
08.2013 – 10.2019	+9'760	+0.62	- Stark positive Bilanz infolge erhöhter Murgangaktivität.
10.2019 – 04.09.2020	-2'250	-0.15	- Negative Bilanz, möglicherweise infolge Baggarbeiten.

#### 5.1.3.2 2020 – 2021

Periode	Geschiebebilanz (m³)	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
04.09.2020 – 28.06.2021 (297 Tage)	+6'363	+0.41	- Positive Bilanz als Folge der hohen Murgangaktivität ab dem 22.06. [5]. Auflandungen besonders mächtig (2 – >3 m) zwischen Skibrücke und Tirolerwehr (Koordinaten 1200 bis 1400 m). - Im Abschnitt Skibrücke bis Rinderstutzbrücke Bilanz ca. ausgeglichen.
28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)	-963	-0.06	- Leicht negative Bilanz trotz weiterer Murgänge zu Beginn der Periode (22.06. – 09.07). - Die Auflandungen der Vorperiode unterhalb der Skibrücke wurden teilweise remobilisiert und gerinneabwärts verfrachtet. - Bagger-Interventionen, insbesondere zwischen dem Tirolerwehr (1150 m) und Koordinate 1350 m (Dammerschüttung auf der Südseite des Gerinnes mit Bachschutt, vgl. Querprofil Oe8, Anhang 4).

13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)	-1'217	-0.08	- Negative Bilanz infolge kontinuierlicher, flächiger Gerinneerosion. - Keine Materialeinträge durch Murgänge. - Keine maschinellen Interventionen.
Zone 3 total 2020 – 2021	+4'183	+0.27	

#### 5.1.4 Zone 4 (Rinderstutzbrücke – Zusammenfluss Chalberspissibäche)

##### 5.1.4.1 2013 – 2020

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
08.2013 – 10.2019	-670	-0.04	- Bilanz ca. ausgeglichen.
10.2019 – 04.09.2020	-2'050	-0.13	- Negative Bilanz, möglicherweise infolge Baggararbeiten.

##### 5.1.4.2 2020 – 2021

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
04.09.2020 – 28.06.2021 (297 Tage)	+1'252	+0.08	- Positive Bilanz als Folge der hohen Murgangaktivität ab dem 22.06. aus dem Inneren Chalberspissibach [5]. Ablagerungen in der Grössenordnung 1 bis 2 m um Koordinate 1200 m, darunter Bilanz ca. ausgeglichen.

28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)	-1'264	-0.08	- Negative Bilanz trotz weiterer Murgänge zu Beginn der Periode (22.06. – 09.07.). - Auflandungen der Vorperiode wurden teilweise remobilisiert und gerinneabwärts transportiert.
13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)	+2'331	+0.15	- Positive Bilanz infolge neuer Murgangablagerungen im oberen Bereich der Zone (Koordinate 2100 bis 2250 m) nach Rutschereignis im EZG des Inneren Chalberspissibaches am 23/24.09. Mächtigkeit der Auflandung in der Grössenordnung 1 bis 2 m. - Reichweite der kleinen Murschübe nur bis ca. Koordinate 2100 m, darunter +- ausgeglichene Bilanz.
Zone 4 total 2020 – 2021	+2'319	+0.15	

### 5.1.5 Zone 5 (Zusammenfluss Chalberspissibäche – Mitte Kegel Üssere Chalberspissibach)

#### 5.1.5.1 2013 – 2020

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
08.2013 – 10.2019	-2'130	-0.39	- Negative Bilanz.
10.2019 – 04.09.2020	-1'340	-0.24	- Negative Bilanz.

#### 5.1.5.2 2020 – 2021

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung



04.09.2020 – 28.06.2021 (297 Tage)	+618	+0.11	- Leicht positive Bilanz.
28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)	+952	+0.17	- Leicht positive Bilanz.
13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)	+640	+0.12	- Positive Bilanz infolge Murgangablagerungen nach Ereignis vom 23./24.09.
Zone 5 total 2020 – 2021	+2'210	+0.40	

## 5.1.6 Zone 6 (Mitte Kegel – Kegelhals Üssere Chalberspissibach)

### 5.1.6.1 2013 – 2020

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
08.2013 – 04.09.2020	-6'780	-0.72	- Bilanz leicht negativ. - Kein Höhenmodell 2019.

### 5.1.6.2 2020 – 2021

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
04.09.2020 – 28.06.2021 (297 Tage)	+4'065	+0.43	- Bilanz stark positiv infolge Lawinenschneeablagerungen.
28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)	-4'680	-0.50	- Bilanz stark negativ infolge Schmelze Lawinenschneeablagerungen.

13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)	+1'010	+0.11	- Positive Bilanz infolge Ablagerungen Ereignis 23. / 24. September.
Zone 6 total 2020 – 2021	+395	+0.04	

### 5.1.7 Zone 7 (Zusammenfluss Chalberspissibäche – Mitte Kegel Innere Chalberspissibach)

#### 5.1.7.1 2013 – 2020

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
08.2013 – 10.2019	+50	+0.01	- Bilanz ca. ausgeglichen.
10.2019 – 04.09.2020	-80	-0.01	- Negative Bilanz, möglicherweise infolge Baggararbeiten.

#### 5.1.7.2 2020 – 2021

Periode	Geschiebebilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlenveränderung (m)	Bemerkung
04.09.2020 – 28.06.2021 (297 Tage)	+341	+0.03	- Bilanz ca. ausgeglichen. - Murgänge ab 22.06 aus diesem Bereich, daher starke Umlagerungen.
28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)	-1'489	-0.15	- Negative Bilanz. - Murgänge bis 09.07. aus diesem Bereich, daher starke Umlagerungen.

13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)	+248	+0.02	Bilanz ca. ausgeglichen.
Zone 5 total 2020 – 2021	-900	-0.09	

### 5.1.8 Zone 8 (Mitte Kegel – Kegelhals Innere Chalberspissibach)

#### 5.1.8.1 2013 – 2020

Periode	Geschiebe- bilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlen- verände- rung (m)	Bemerkung
08.2013 – 04.09.2020	-4'730	-0.51	- Bilanz stark negativ (laterale Erosion im Bereich des Kegels, vgl. Profil IC7). - Kein Höhenmodell 2019.

#### 5.1.8.2 2020 – 2021

Periode	Geschiebe- bilanz (m <sup>3</sup> )	Sohlen- verände- rung (m)	Bemerkung
04.09.2020 – 28.06.2021 (297 Tage)	+5'754	+0.62	- Bilanz stark positiv infolge Lawinenschneeablagerungen.
28.06.2021 – 13.08.2021 (46 Tage)	-6'660	-0.72	- Bilanz stark negativ infolge Schmelze Lawinenschneeablagerungen.
13.08.2021 – 24.10.2021 (72 Tage)	+1'022	+0.11	- Leicht positive Bilanz (laufender Materialeintrag aus Rutschung bei geringem Austrag).
Zone 8 total 2020 – 2021	+116	+0.01	



### 5.1.9 Zone 9 (Spitze Stei – EZG Üssere Chalberspissibach)

Periode	Geschiebe- bilanz (m <sup>3</sup> )	Gewinn (m <sup>3</sup> )	Verlust (m <sup>3</sup> )	Bemerkung
04.09.2020 – 01.10.2021  (392 Tage)	-12'265	+16'819	-29'084	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absturz vom 23./24. September primär für Nettoverlust verantwortlich.</li> <li>- Unter Berücksichtigung der tiefgründigen Bewegungen liegt die tatsächliche Geschiebebilanz in der Grössenordnung -20'000 m<sup>3</sup>.</li> </ul>

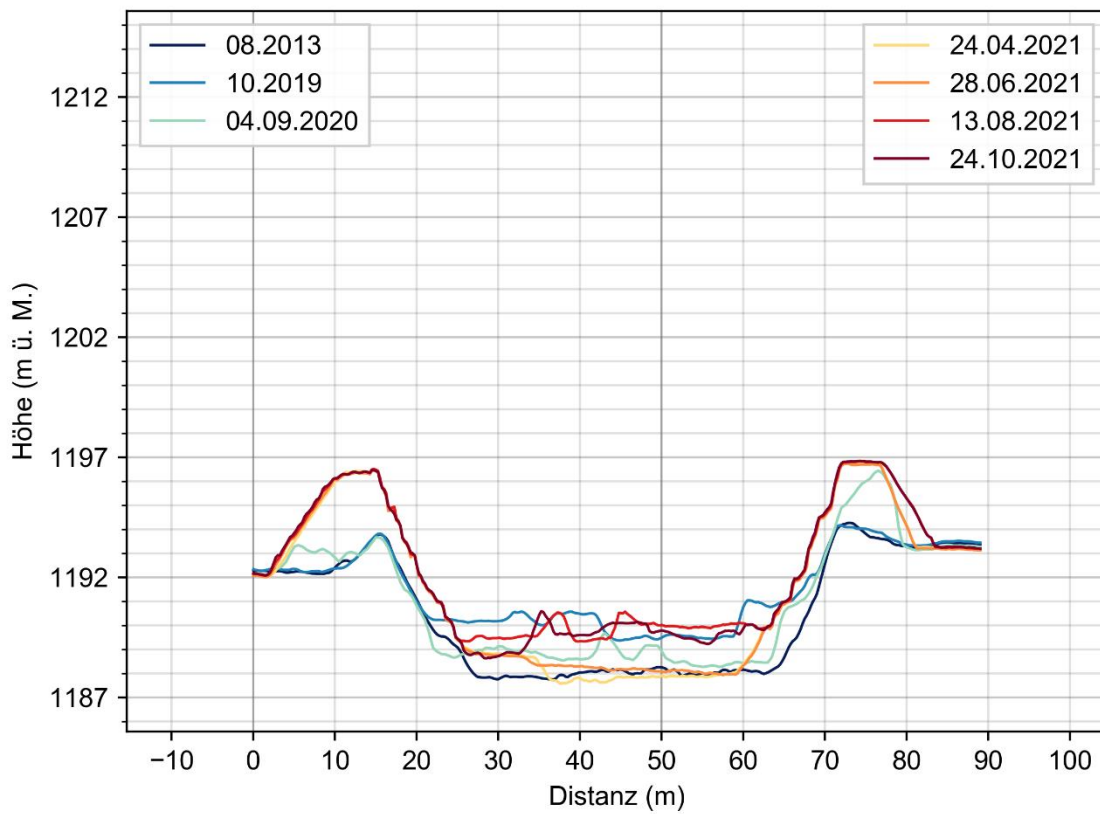
### 5.1.10 Zone 10 (Spitze Stei – EZG Innere Chalberspissibach)

Periode	Geschiebe- bilanz (m <sup>3</sup> )	Gewinn (m <sup>3</sup> )	Verlust (m <sup>3</sup> )	Bemerkung
04.09.2020 – 01.10.2021  (392 Tage)	+292	+132'369	-132'077	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2020 – 2021 keine grösseren Austräge aus Zone 10 in das Gerinne des Inneren Chalberspissibaches. Stattdessen laufend kleinere Austräge sowie zunehmende Geschiebeakkumulation im Bereich der Rutschfront.</li> <li>- Absturz Turm 13/16 (10'000 – 15'000 m<sup>3</sup>) am 12.10.2020, Ablagerung weitgehend innerhalb Zone 10, Auflockerungsfaktor ca. 30%.</li> <li>- Unter Berücksichtigung des Auflockerungsfaktors aller Sturzereignisse dürfte der tatsächliche Geschiebeverlust um 10'000 m<sup>3</sup> liegen.</li> </ul>

## Anhang 4 – Querprofile

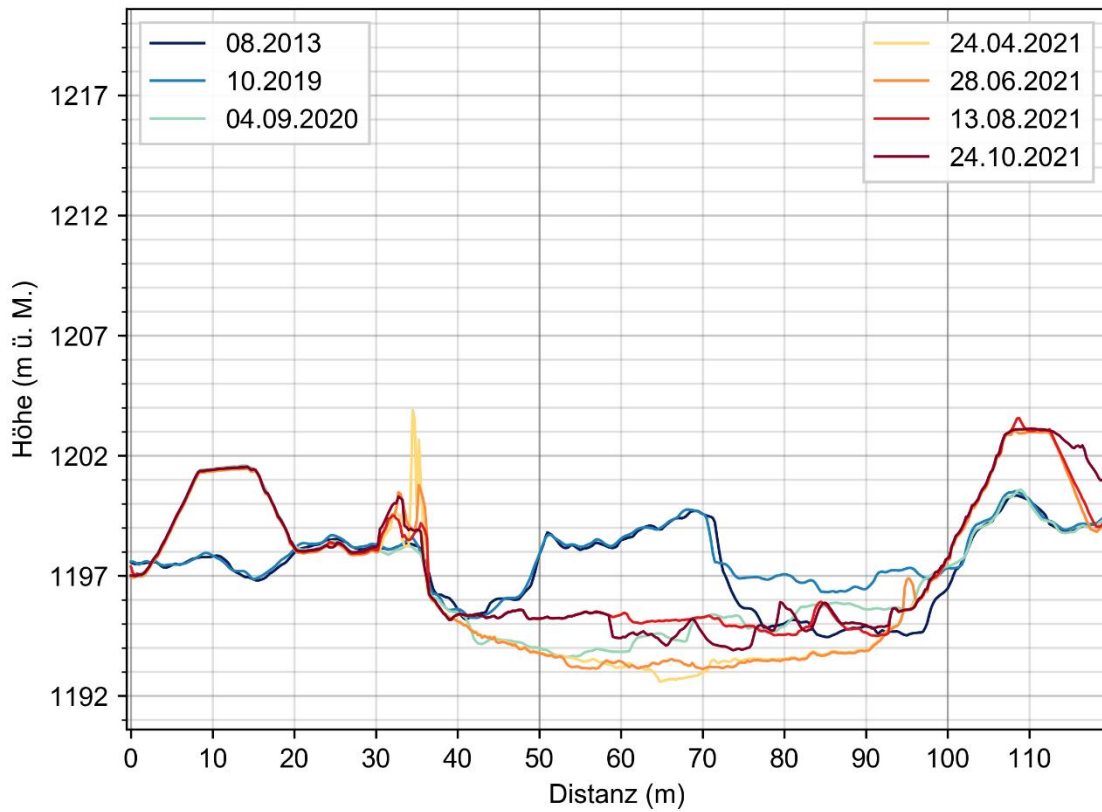
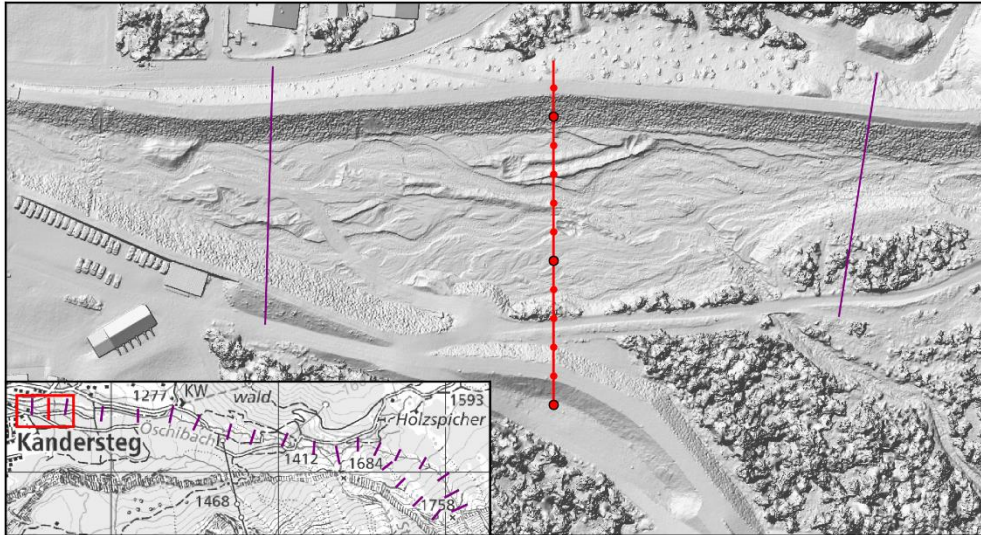
Nachfolgend sind sämtliche 23 Querprofile in Reihenfolge GAP gerinneaufwärts abgebildet. In der Übersichtskarte ist das aktuelle Profil rot markiert. Rote Punkte entlang der Profile markieren 10 m Abschnitte; 50 m Marker sind zusätzlich schwarz umrandet. Die Höhen der Querprofile wurden alle 25 cm gesampelt. Das Höhenmodell vom April 2021 deckt nur den Gerinnebereich bis zur Skibrücke ab (bis und mit Profil OE9). Die Laserhöhenmodelle (blaue Linien) zeigen die Geländeoberfläche ohne Vegetation, die von den Drohnendaten photogrammetrisch abgeleiteten Höhenmodelle (gelbe bzw. rote Linien) die Geländeoberfläche mit Vegetation.

Profil OE1

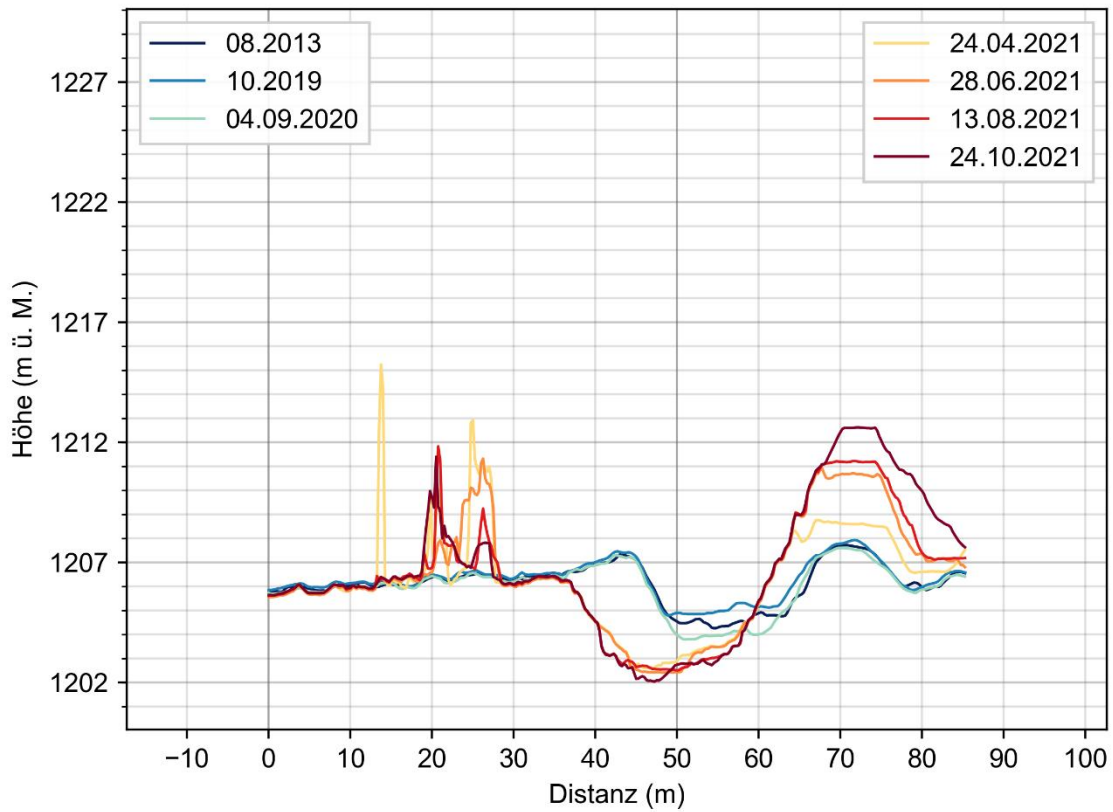
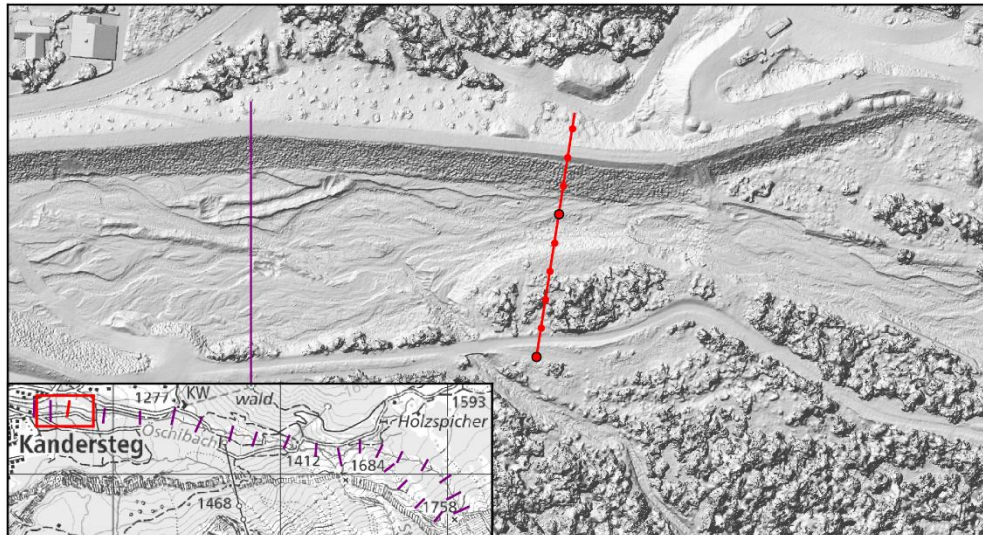




Profil OE2



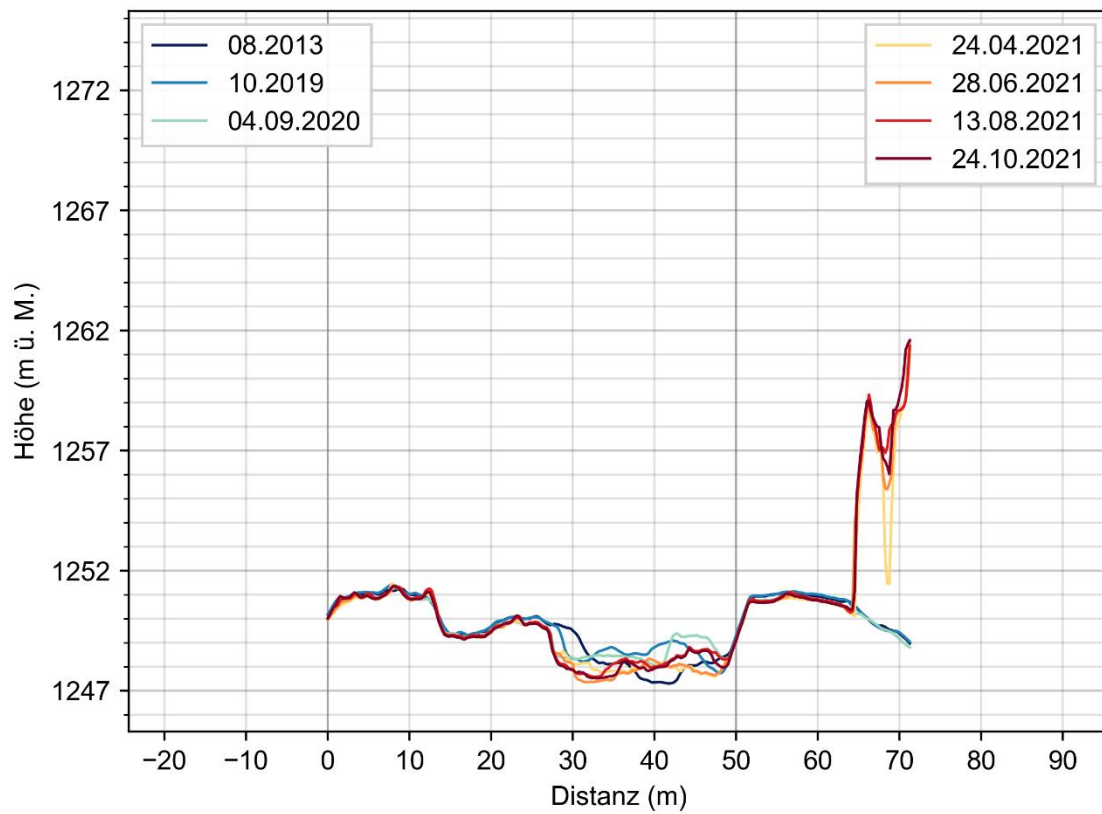
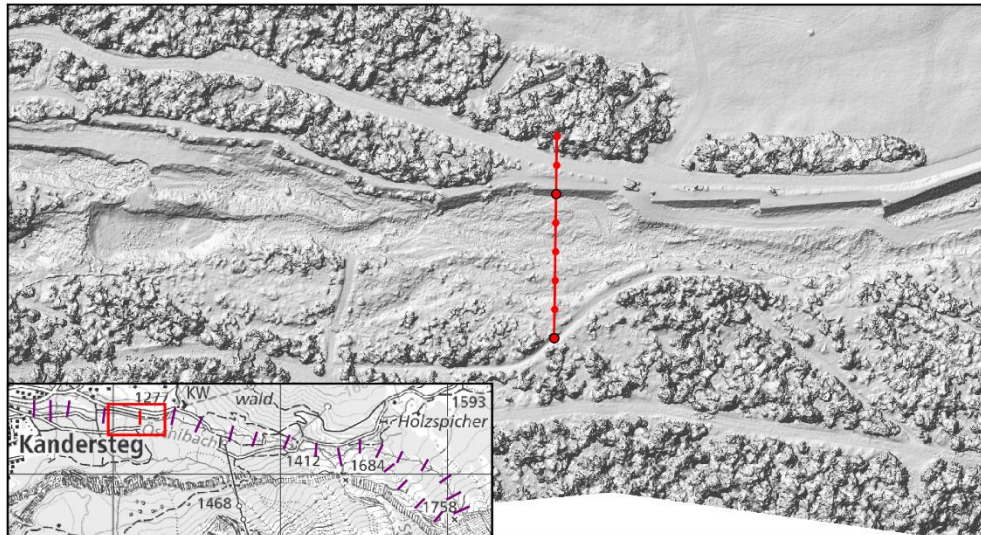
### Profil OE3



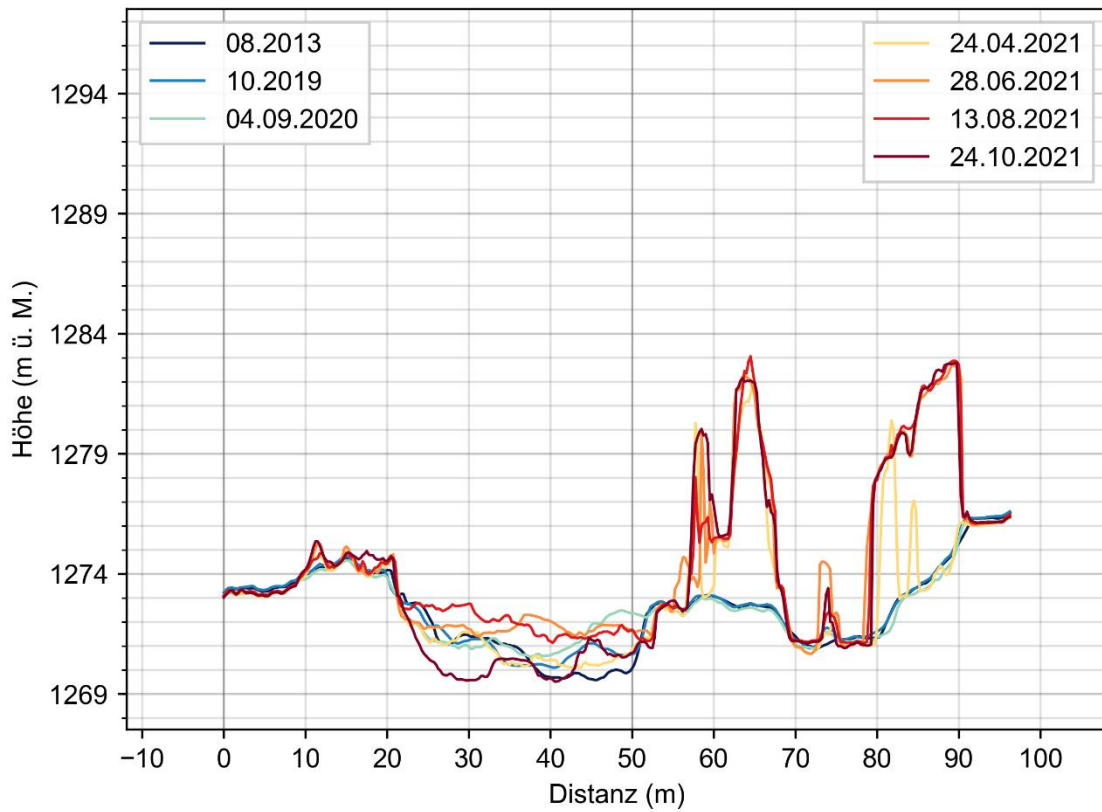
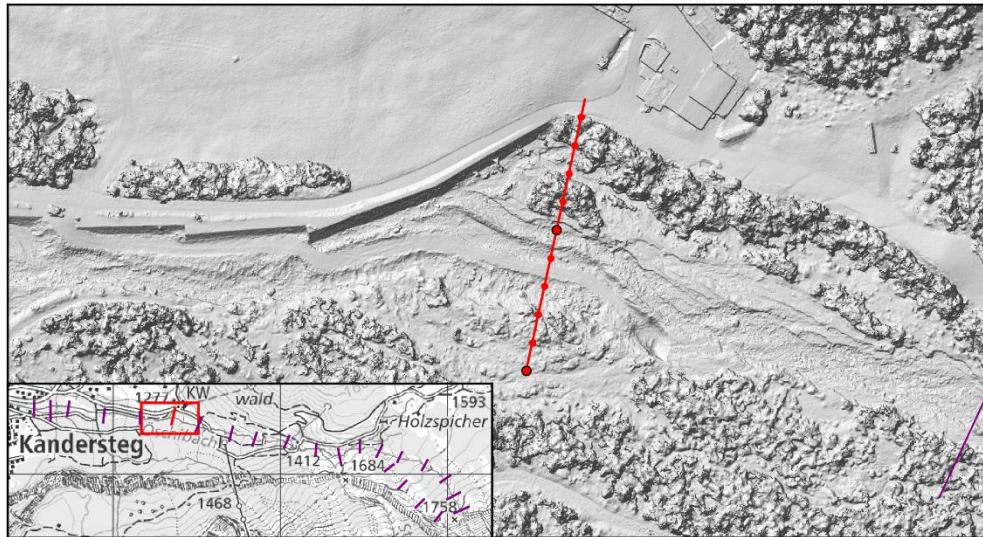




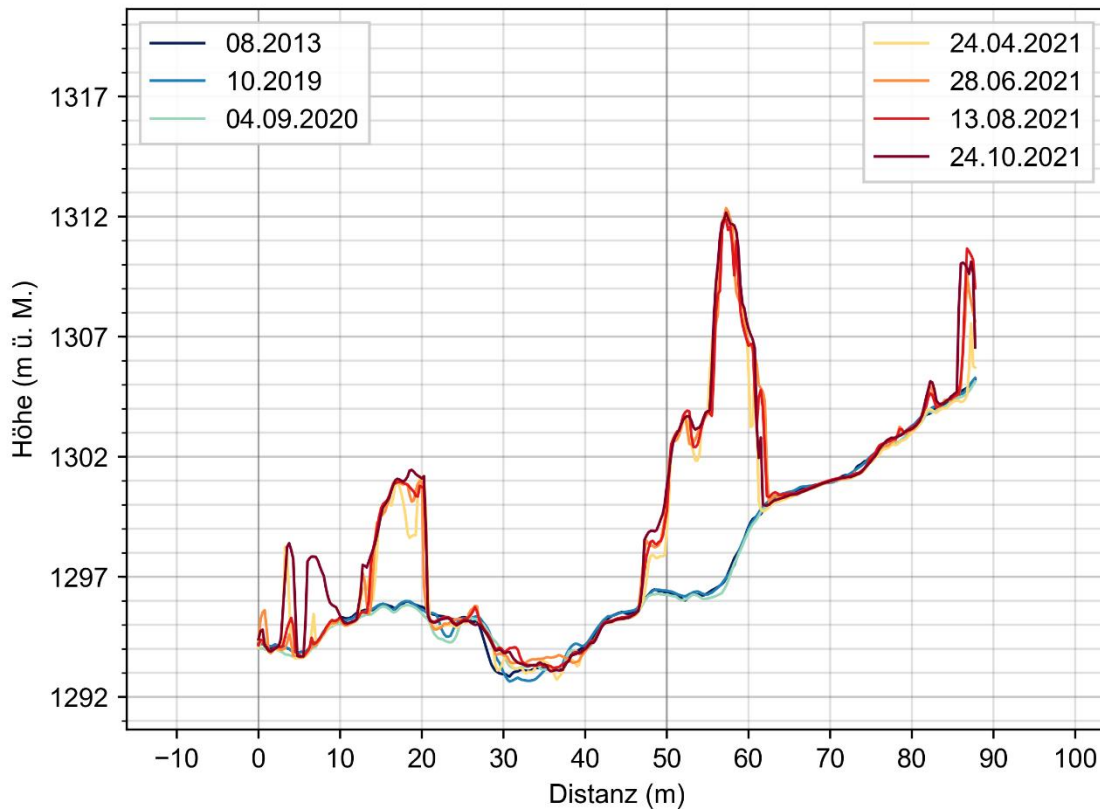
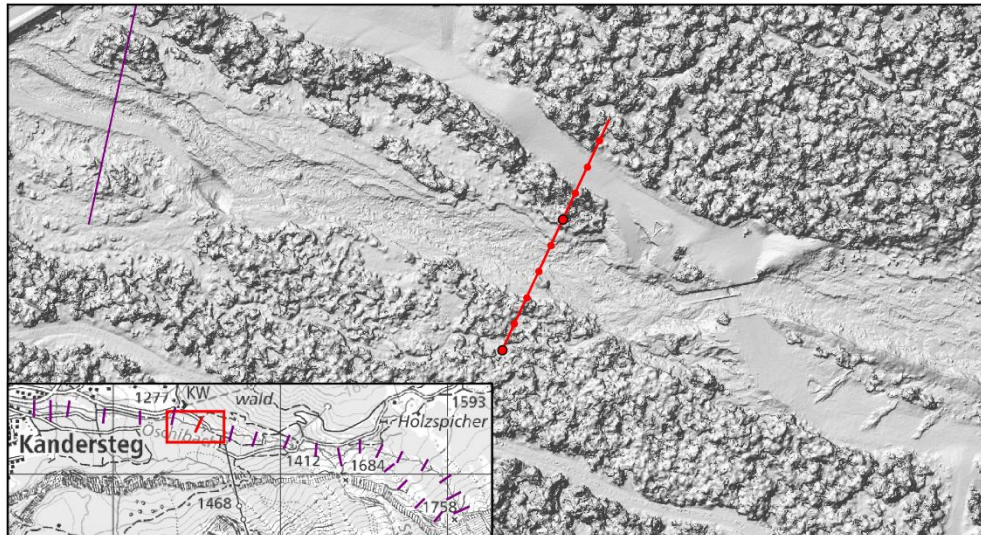
Profil OE5



Profil OE6

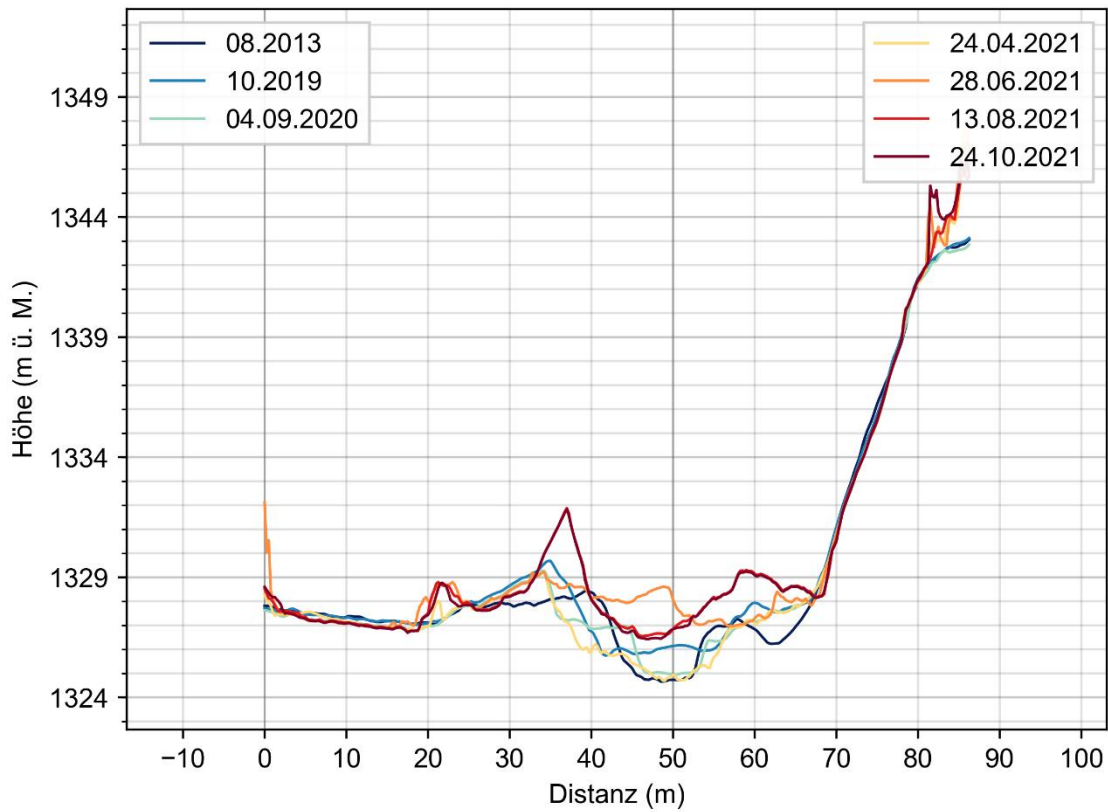
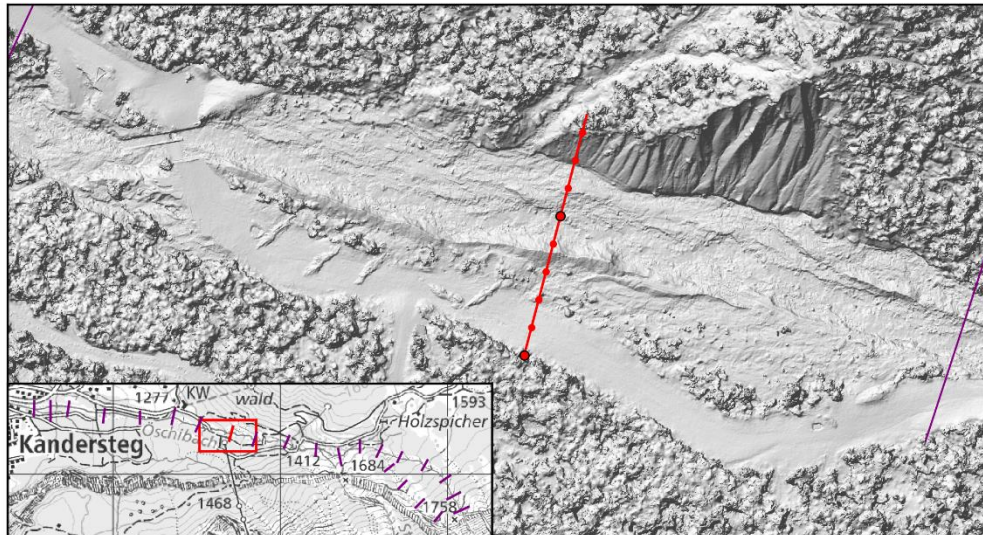


Profil OE7

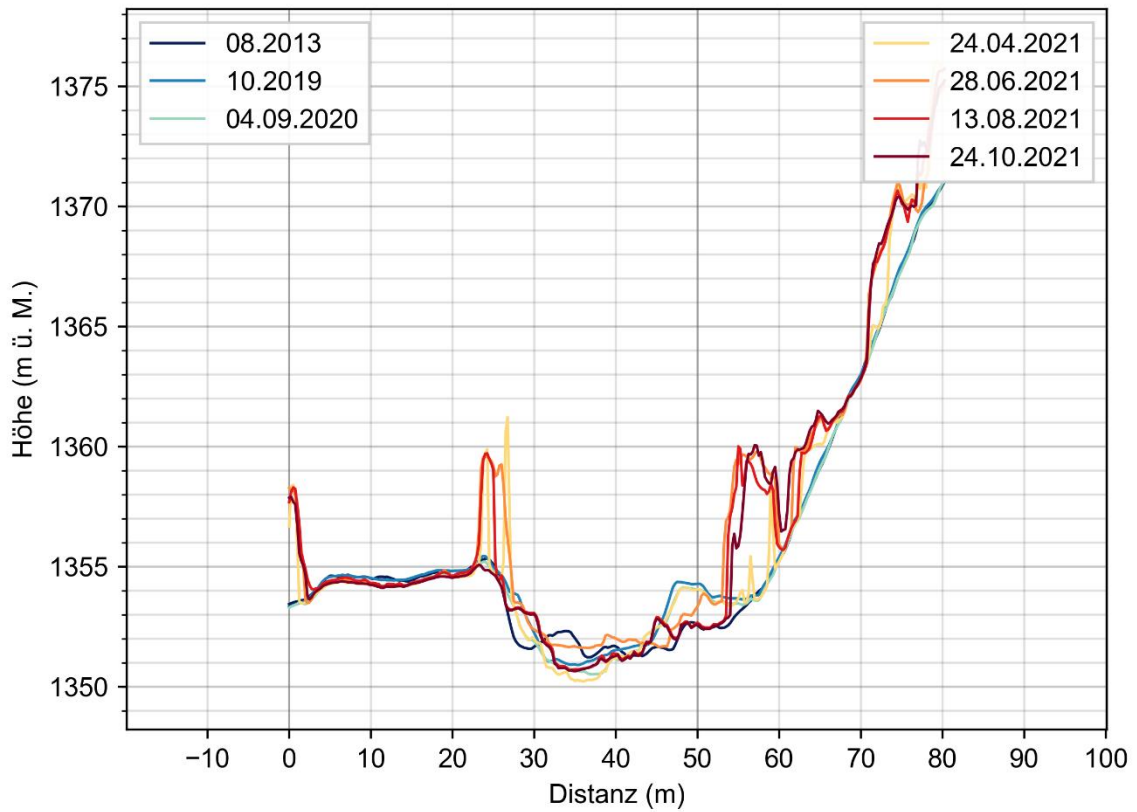
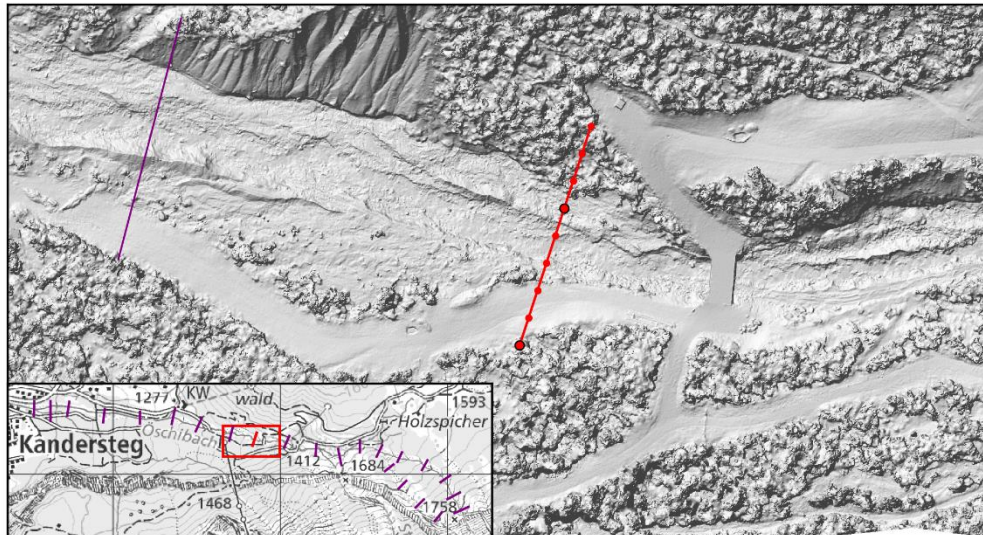




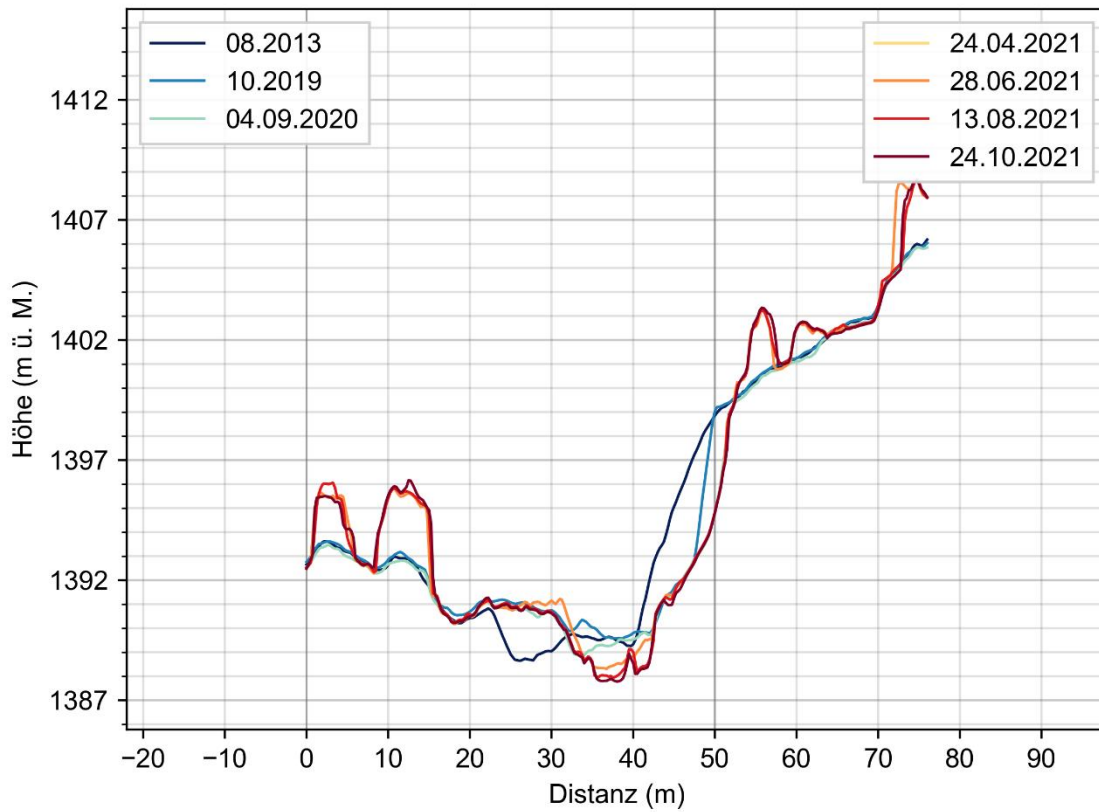
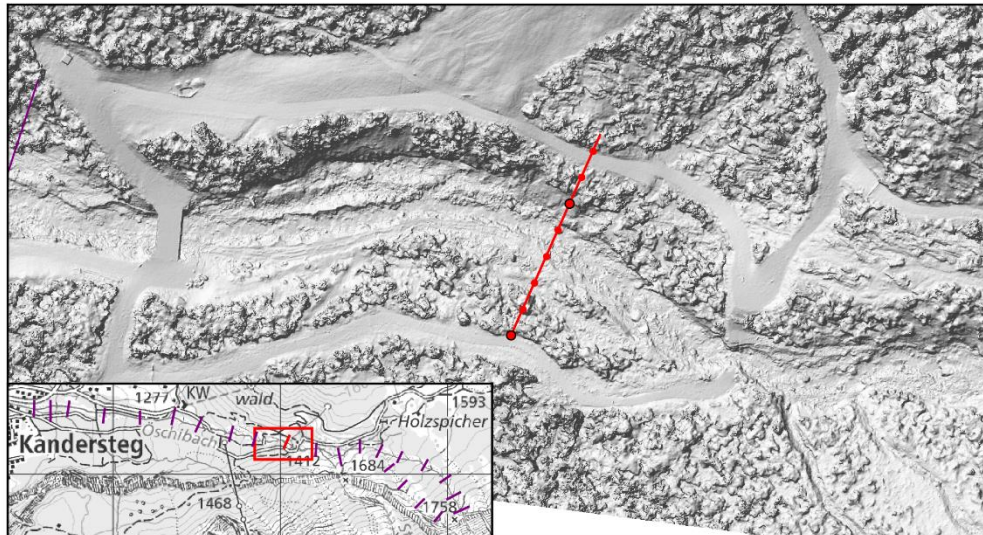
### Profil OE8



Profil OE9

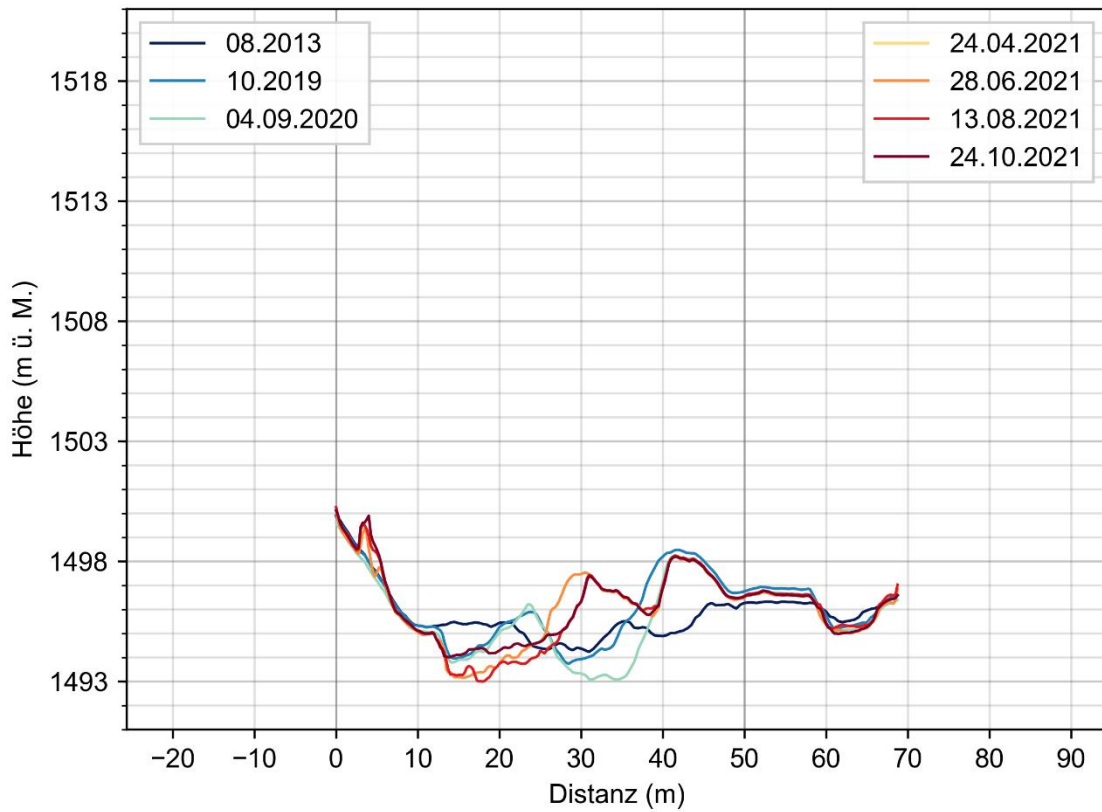
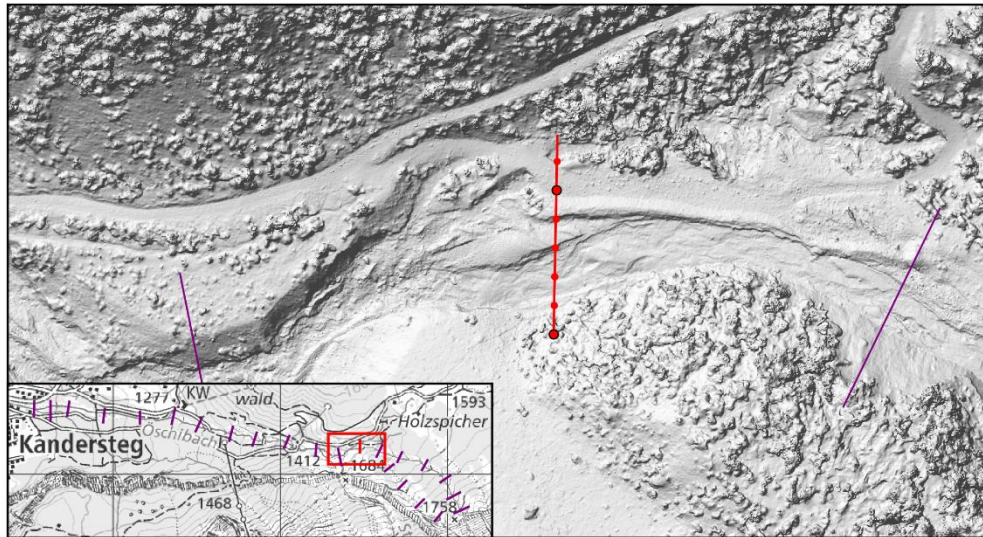


Profil OE10



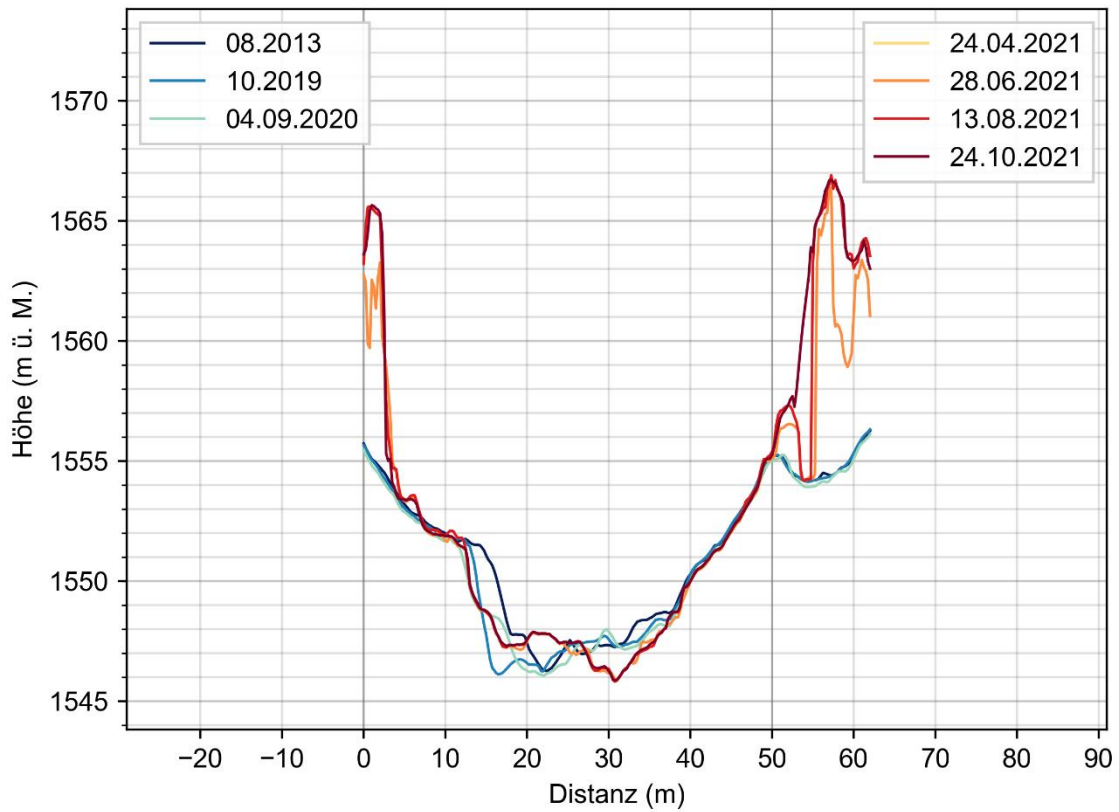
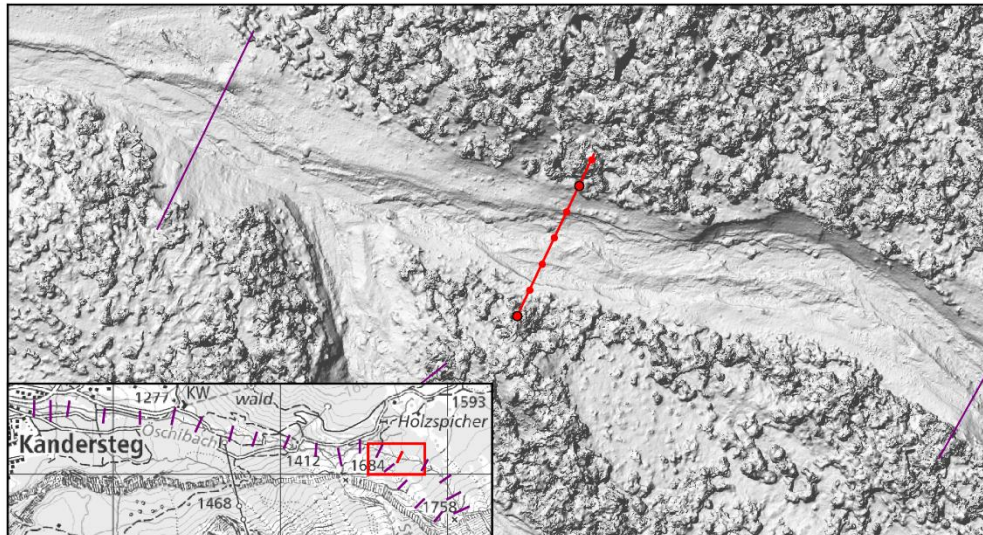


Profil IC1



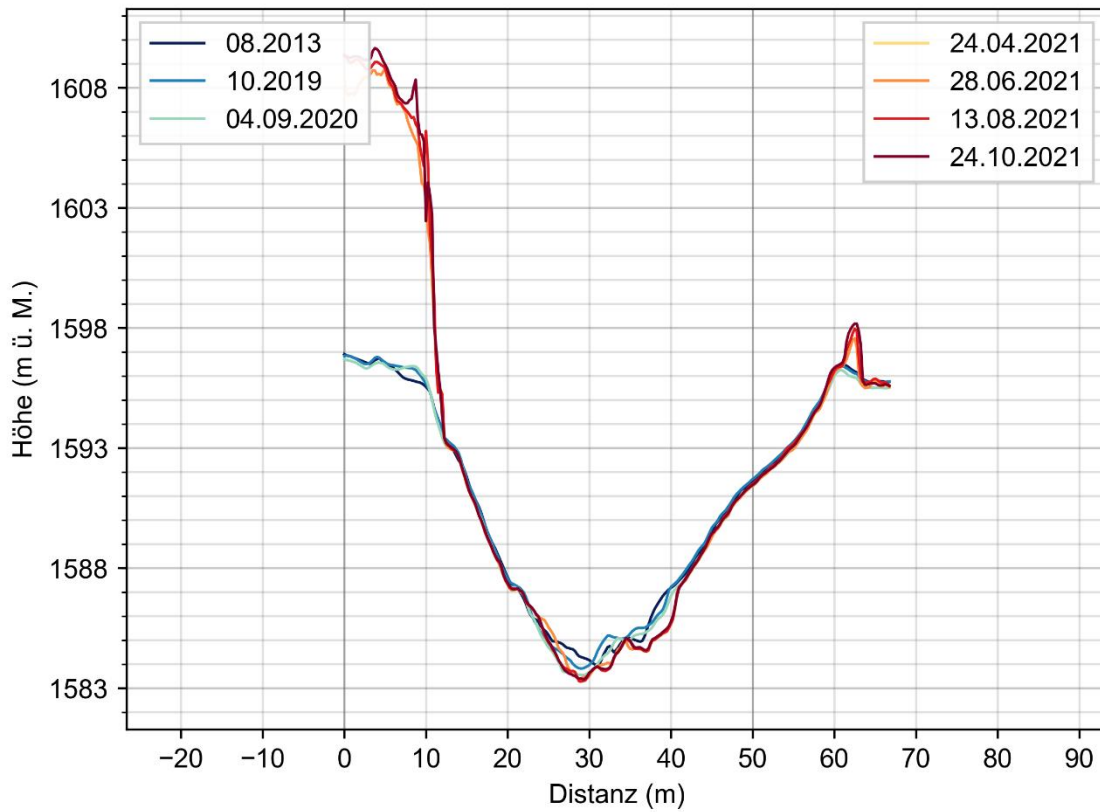
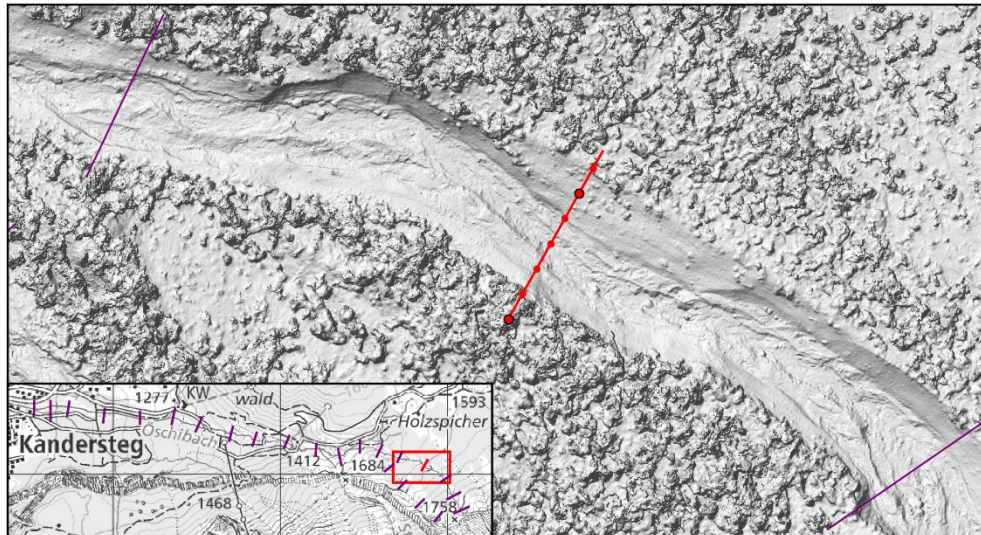


Profil IC3

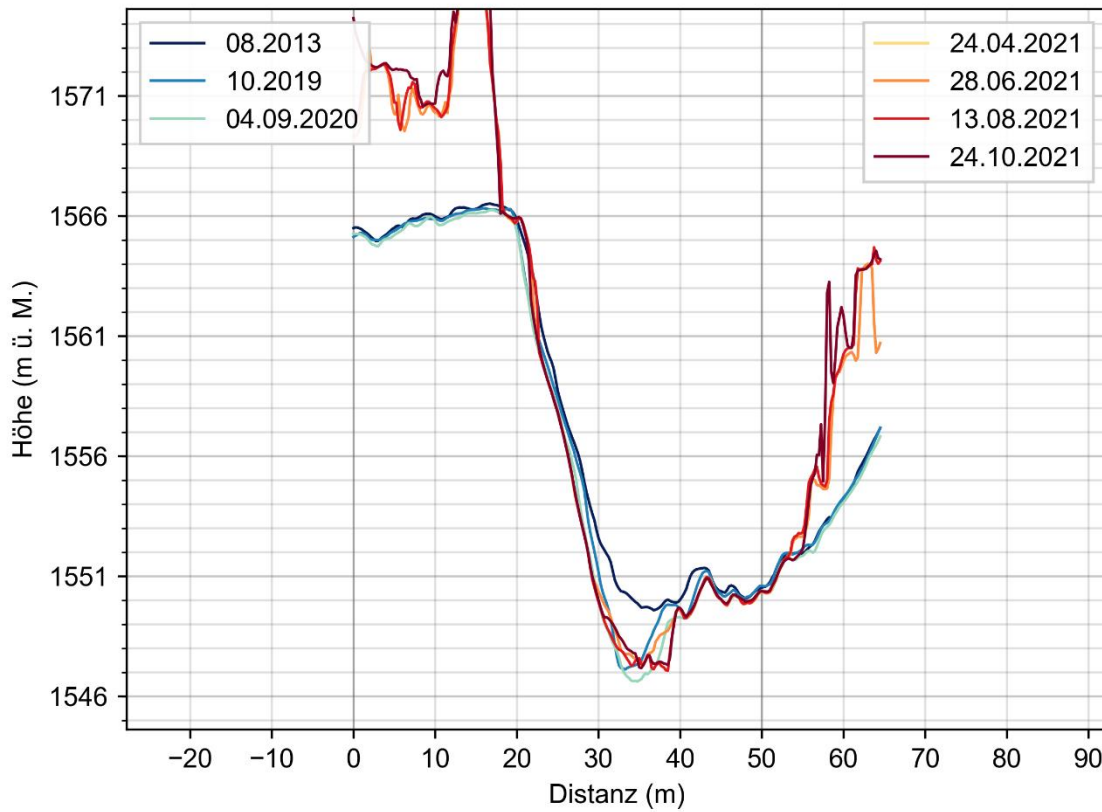
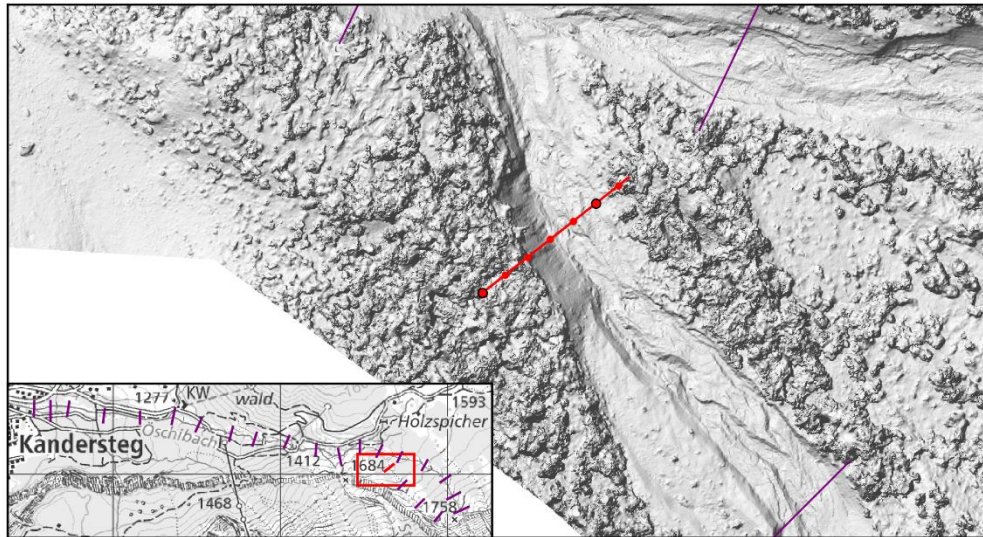




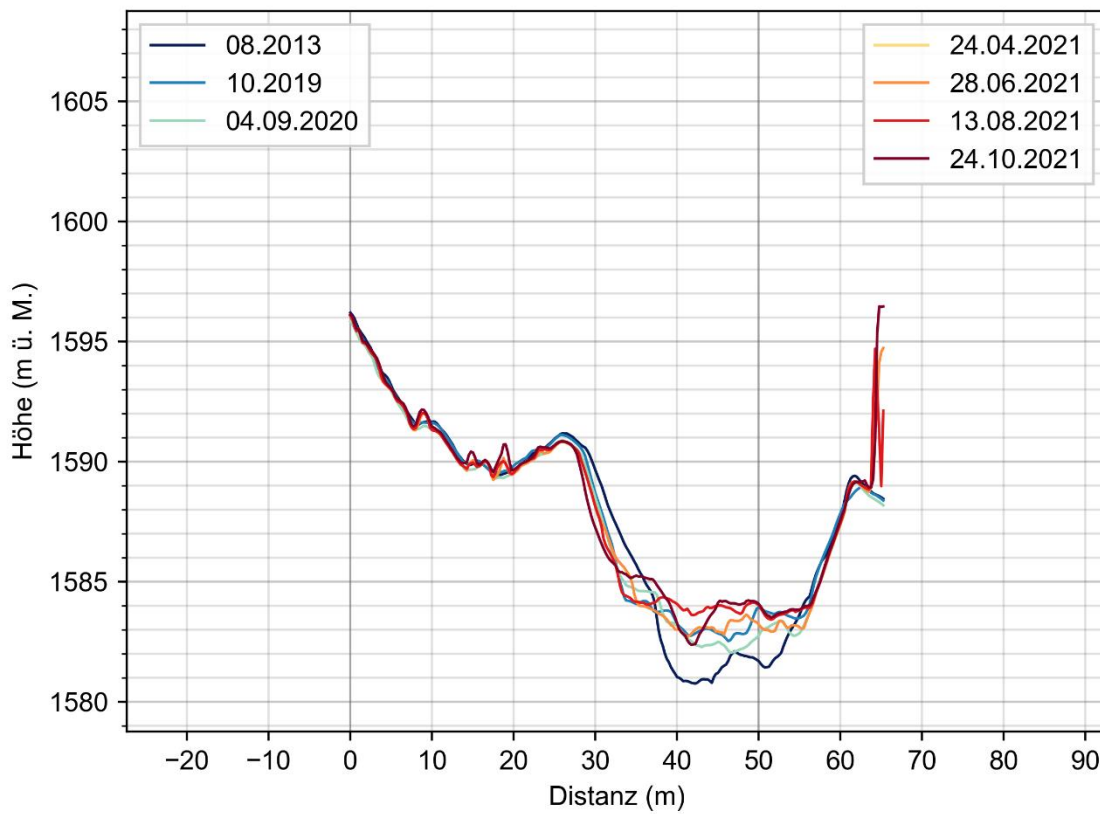
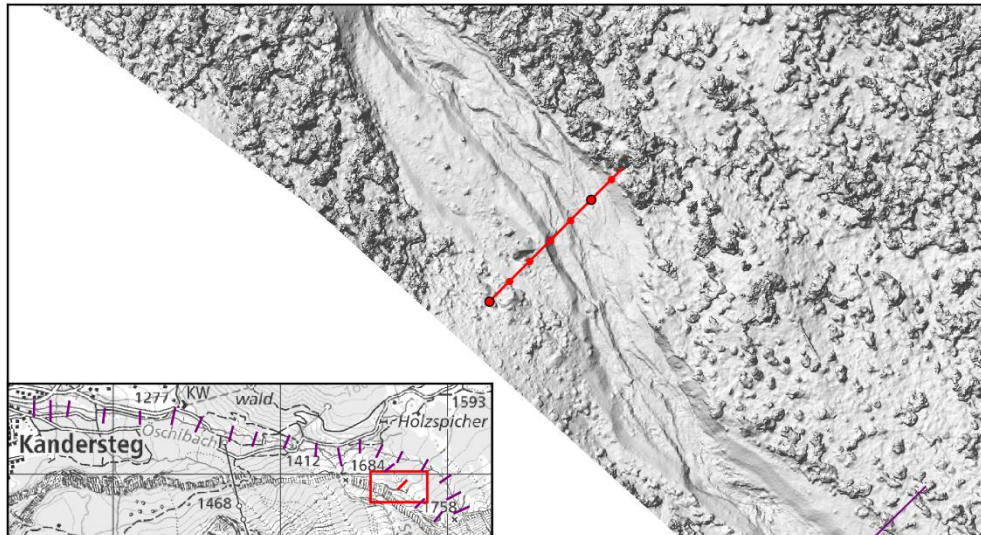
Profil IC4



Profil AC1

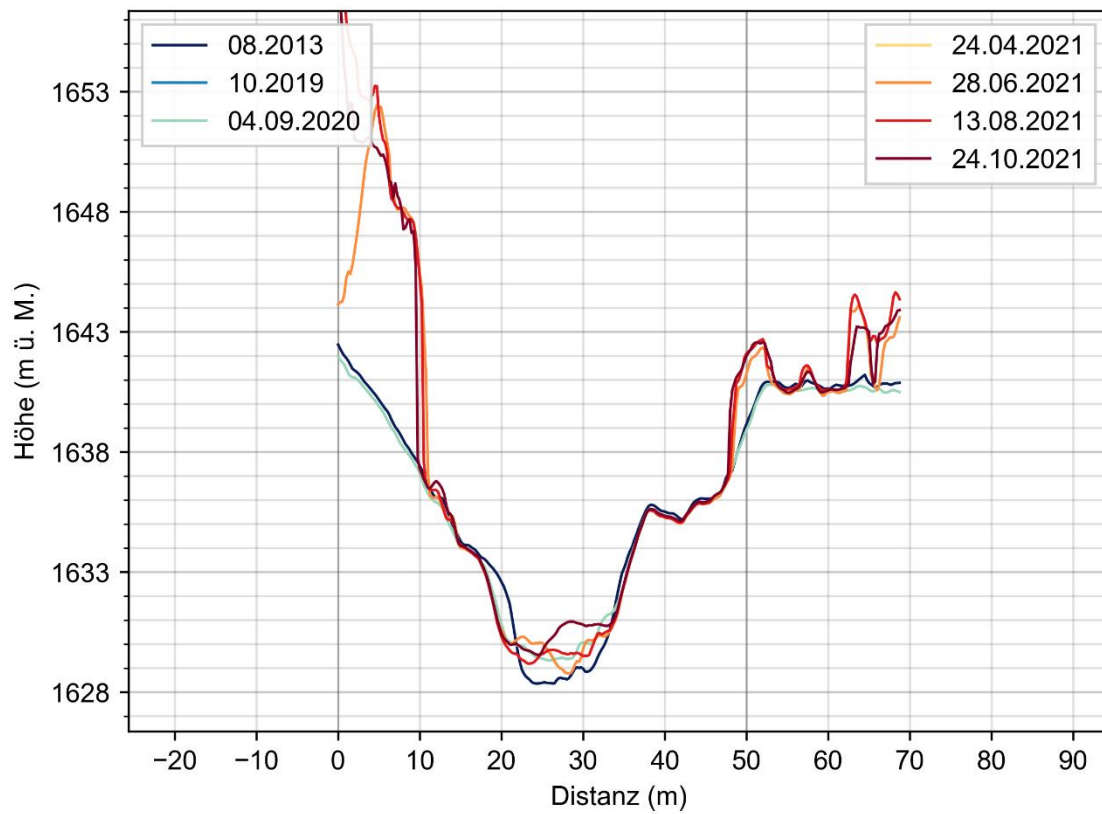
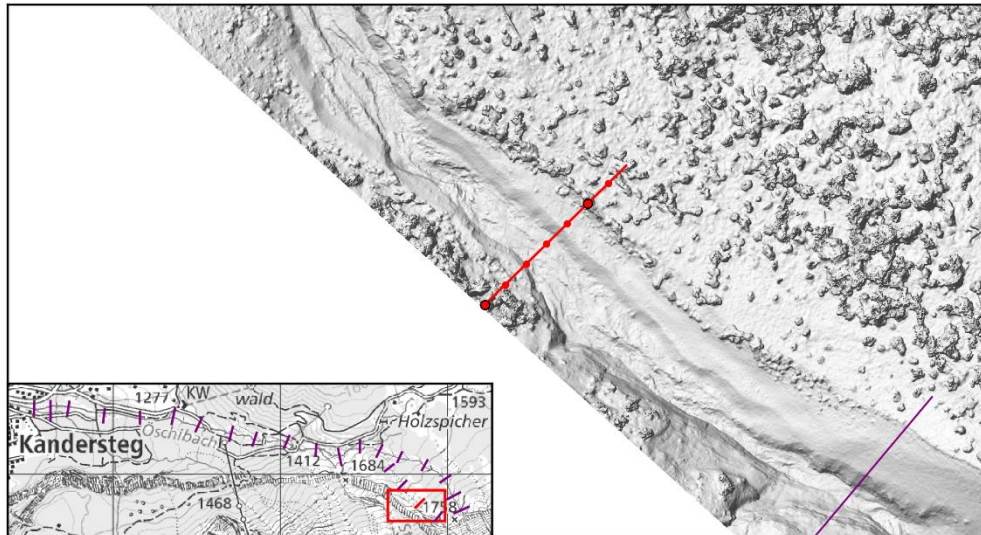


Profil AC2





Profil AC3



Profil AC4

