DR. VOLLENWEIDER AG
GEOTECHNIK
GRUNDBAU
TUNNELBAU

GEOTEST

glarnerSach

8750 Glarus

Wagenrunse

GEOLOGISCHE UND GEOTECHNISCHE BEURTEILUNG

Synthesebericht
Historische Einordnung des Ereignisses und
zu möglichem Zusammenhang Strassensanierung 2020/2021
mit Rutschereignissen 2023

Zürich, 03.09.2024
Dok. Nr. 3245.004

Dr. Vollenweider AG Badenerstrasse 621, 8048 Zürich

GEOTEST AG, Grisigenstrasse 6, 6048 Horw

Zusammenfassung

In Schwanden, Glarus Süd, ereigneten sich im Dezember 2020 Rutschungen in der Wagenrunse («Wagenrus»). Diese beschädigten unerwartet die ca. 1932 erstellte Niederentalstrasse auf einer Länge von rund 50 m. Innert kürzester Zeit wurden Untersuchungen durchgeführt. Die Rutschmasse wurde abgeholzt und entwässert, die Strasse wurde 2021 wieder instand gestellt sowie Massnahmen gegen Steinschlag und Gleitschnee getroffen.

2023 fanden erneut Rutschbewegungen statt. Diese gipfelten am 29. August 2023 in einer grossen Rutschung, welche die neue Strasse zerstörte und hangabwärts in einem murgangartigen Abgang mit Tiefenerosion bis an den Hangfuss niederging. Die Liegenschaften am Hangfuss wurden meterhoch mit Murgangschutt eingeschüttet. Das Notfallkonzept funktionierte zum Glück und Personen kamen keine zu Schaden.

Die GlarnerSach wünschte eine unabhängige Überprüfung der geologischen und geotechnischen Arbeiten bei den Sanierungen der Niederentalstrasse im Hinblick auf mögliche Mitverantwortung. Die Resultate dieser Überprüfung werden in dieser Synthese zusammengefasst.

Die heutigen geologischen Erkenntnisse waren vor dem Ereignis 2023 nicht alle bekannt oder nicht in ihrer Tragweite erkennbar, was in der Expertise klar belegt wird. Geologisch befindet sich die Wagenrus an einem sehr speziellen Ort: Hier schneidet sich die Glarner Hauptüberschiebung mit dem hinteren Abrissrand der Sackungen von Haslen. Der Lochsitenkalk der Glarner Hauptüberschiebung ist praktisch zu Sand zersetzt und führt sehr viel Wasser. Die Erdbeben von Elm von 2020 und die Rutschungen 2020 bis 2023 führten zu Veränderungen in den unterirdischen Wasserfliesswegen. Die geologische Beurteilung 2021 weist auf all diese Sachverhalte mit dem damaligen Kenntnisstand hin und kann als sehr sorgfältig und umfassend beurteilt werden. Auch mit heutiger verbesserter Kenntnislage verbleiben Unsicherheiten. Aufgrund der komplexen geologisch-hydrogeologischen Ausgangslage müssen die Ereignisse 2020 bis 2023 als Extremereignisse bezeichnet werden, welche aus geologischer Sicht noch nicht abgeschlossen sind.

Geologie und Rutschmechanismus wurden in Modellen abgebildet, auf denen die Projektierung erfolgte. Die Verschiebungen des Hangs wurden mit Entwässerung verlangsamt. Die Strassensanierung erfolgte nach einer Variantendiskussion. Es wurde entschieden, die Strasse an gleichem Ort wieder instand zu stellen. Klare Vorgaben hinsichtlich Schutz vor Naturgefahren und hinsichtlich Anforderungen an die Erschliessung wurden formuliert. Die verbleibenden Risiken wurden von den Planern und Geologen klar benannt und mit der Bauherrschaft abgesprochen. Die Ausführung der Arbeiten erfolgte gemäss den Regeln der Baukunde.

Der Rutschmechanismus wurde etwas anders angetroffen als erwartet - es haben sich tiefere aktive Gleitflächen sowohl unterhalb als auch oberhalb der Strasse manifestiert. Da die Entwässerungsmassnahmen genügend Erfolg zeigten, musste das Projekt nicht angepasst werden.

Kritisch zeigten sich die weiteren Veränderungen der Wasserfliesswege bis 2023, die so nicht erwartet waren und sich auch nicht frühzeitig ankündigten. Sie führten 2023 zu neuen

massgeblichen Verschiebungen im Hang unterhalb der Strasse und in der Folge auch oberhalb der Strasse und schliesslich zur grossen Rutschung.

Die eingerichteten Überwachungsmassnahmen und das Notfallkonzept für die unterliegende Siedlung sind zweckmässig und erlaubten trotz der kritischen Entwicklung auch das rechtzeitige Erkennen des sich anbahnenden Extremereignisses vom 29. August 2023 und der richtigen Reaktion darauf. Die Evakuationen konnten rechtzeitig ausgeführt werden und Menschen kamen aufgrund dieser professionell umgesetzten Massnahmen nicht zu Schaden.

Die Experten kommen zum Schluss, dass bei der geologischen Beurteilung, der Erkundung und der Überwachung sowie bei der Planung und Ausführung der Strassensanierungsarbeiten 2021 und den begleitenden Arbeiten gegen Naturgefahren keine Verantwortlichkeiten verletzt wurden.

Die Ereignisse von 2023 beurteilen die Experten als ein unerwartetes, nichtvorhersehbares Naturereignis, dem im Rahmen der vorhandenen Möglichkeiten nichts entgegengesetzt werden konnte ausser Evakuationsmassnahmen. Es ist festzustellen, dass bezüglich Rutschprozess auch heute noch einige Fragen offen sind, und Messungen zeigen, dass der Prozess nicht abgeschlossen ist. Zusammenhänge mit den baulichen Massnahmen 2021, die zu einem intensiveren Ereignis geführt oder dies sogar ausgelöst hätten, konnten die Experten keine finden.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
Zusammenfassung		2
1.	Ausgangslage und Auftrag	6
1.1	Auftrag	7
1.2	Vorgehen	7
1.3	Beurteilung	8
1.4	Unterlagen	8
A	Sachverhalt aus geologischer Sicht	10
2.	Historisches	10
2.1	Topographische Karteninfo, Luftbilder	10
2.2	Geologische Karten	11
2.3	Ereigniskataster, Gefahrenkarte	11
2.4	Zusammenfassung Karten- und Archivstudium	12
2.5	Interpretation, Folgerung	12
3.	Geologie	12
3.1	Wissensstand Geologie heute, nach den Ereignissen 2023	12
3.2	Wissenstand 2020	13
3.3	Wissensstand 2023 bis heute	14
3.4	Neuste Erkenntnisse Sondierbohrung SB1/2023	15
3.5	Ursachenanalyse aus heutiger Sicht mit heutiger Kenntnis	15
4.	Notfallmassnahmen	17
B	Geotechnische Sicht	17
5.	Sachverhalt aus geotechnischer Sicht	17
5.1	Ereignis 2020	17
5.2	Massnahmenkonzept 2021 nach dem Erdrutsch 2020	18
5.3	Baumassnahmen	19
5.3.1	Massnahmen zur Begegnung der Naturgefahren	19
5.3.2	Massnahmenkonzept zur Wiederherstellung der Verkehrsverbindung	20
5.4	Überwachung und Unterhalt	20

5.5 Weiteres 21
5.6 Bauarbeiten 21
5.7 Statik 21
5.8 Überwachungsresultate, Prüfung Wirksamkeit, Unterhalt 21
5.9 Ereignisse April 2023 – Juli 2023 24

6. Beurteilung aus geotechnischer Sicht 27
6.1 Rutschmechanismus 27
6.1.1 Prognose 2020/2021 27
6.1.2 Angetroffene Verhältnisse 28
6.2 Sofortmassnahmen 29
6.3 Massnahmenkonzept 29
6.3.1 Massnahmenkonzept Naturgefahren 29
6.3.2 Massnahmenkonzept Erschliessung 29
6.4 Baumassnahmen 29
6.4.1 Einbauten 29
6.4.2 Weitere Massnahmen 30
6.5 Bauarbeiten 31
6.6 Statik 31
6.7 Überwachung und Unterhalt 31
6.8 Weiteres 31
6.9 Weitergehende Massnahmen 31
6.10 Fazit 32

7. Fragenbeantwortung 33

ANHÄNGE

Anhang 1 Übersicht Projekt Wagenrus

Anhang 2 Auswertung Karteninformation Swisstopo

Anhang 3 Auswertung alte geologische Karten

Anhang 4 Aktuelle geologische Karten, Geologischer Atlas 1:25'000 und Geocover

Anhang 5 Profil durch die Glarner Hauptüberschiebung, Lochsitenkalk

Anhang 6 Reliefkarte mit Geologie, Reliefkarte mit Interpretation

Anhang 7 Detailfoto Ausbruchnische nach dem Ereignis vom 29.8.2023

Anhang 8 Bohrkernaufnahme B2/23 Dr. von Moos AG, Ausschnitt Bereich Lochsitenkalk

1. Ausgangslage und Auftrag

In Schwanden, Glarus Süd, ereigneten sich seit dem 8. Dezember 2020 verschiedene Rutschungen und Murgänge.

Die ersten Bewegungen fanden in der Nacht vom 7. auf den 8. Dezember 2020 statt, verschütteten die Niederentalstrasse und führten auf einer Länge von rund 50 m zu einer Absackung der Strasse um ca. 1 m. Die Rutschmasse vergrösserte in den folgenden Tagen noch und umfasste Mitte Dezember ca. eine Fläche von 20'000 m^2. Unterhalb der Rutschung liegende Häuser von Schwanden waren nicht betroffen. In der Folge wurden im Bereich der Strasse rasch Sondierungen durchgeführt, Sofortmassnahmen ergriffen und mit der Planung der Sicherungsmassnahmen und Strassensanierung gestartet. Aufgrund von Risikoanalysen wurden die Massnahmen zur Begegnung der Naturgefahren festgelegt und im Rahmen eines Variantenstudiums wurden unter Berücksichtigung des Kenntnisstandes der geologischen Untergrundverhältnisse (geologischer Bericht vom 19.01.2021) eine Sanierung der zerstörten Strasse und diverse alternative Erschliessungen geprüft.

Die Risikoanalysen und die Variantendiskussion führten zum Entscheid, den Hang zu entwässern, begleitende organisatorische Massnahmen vorzusehen, die zerstörte Strasse zu sanieren und vor Sturzprozessen zu schützen. Für die Sanierung wurden 3 Varianten geprüft. Variante 3 mit Ankerwänden entlang der Strasse in unveränderter Lage und aufliegendem Tecco-Netz oberhalb der Strasse verursachte am wenigsten Auflast und wurde daher gewählt (Anhang 1).

Die Bauarbeiten wurden rasch ausgeführt und konnten schon im Sommer 2022 abgeschlossen werden.

Im April 2023 wurden Risse in der Strasse, aber auch Bewegungsanzeichen talseits der Strasse im entwässerten Rutschhang und bergseits im mit aufgelegten, verankerten Netzen gesicherten Bereich oberhalb der Strasse erkannt. Bis im Mai 2023 wurde versucht, die Risse in der Strasse zu sanieren. Ebenfalls im Mai wurde ein Notfallkonzept für die Liegenschaften am Hangfuss unterhalb der Wagenrus (Gefährdung durch Murgänge) erstellt. Die Rissbildung ging im gesamten Hang bis zum August 2023 beschleunigt weiter. Am 29. August 2023 kam es dann zum schnellen murgangartigen Abgang eines Grossteils der verrutschten Masse. Die Liegenschaften am Hangfuss wurden meterhoch mit Murgangschutt eingeschüttet. Das Notfallkonzept funktionierte zum Glück und Personen kamen keine zu Schaden, obwohl das Ereignis in seiner Grösse die Ereignisszenarien noch übertraf.

Die Gebäude in grossen Bereichen der betroffenen Gebiete sind zerstört. Ein Wiederaufbau und eine Rückkehr der Bewohner ist aufgrund der Gefahrensituation nicht möglich. Die glarnerSach wird die Schäden decken. Aufgrund der Grösse der Schadensumme beauftragte sie eine externe Beurteilung der Ereignisse, Massnahmen und Handlungen.

1.1 Auftrag

Die Gebäudeversicherung glarnerSach ist Versicherer der beschädigten Gebäude. Für die Abwicklung dieses grossen Falls ist von unabhängigen Fachleuten mit einem Gutachten zu untersuchen, ob Drittverantwortlichkeiten bestehen.

Im konkreten Fall stellen sich Fragen zu den ausgeführten Arbeiten im Zusammenhang mit der Sanierung an der Niederentalstrasse in den Jahren 2020/2021. Es bestehen gemäss glarnerSach keine konkreten Anzeichen für Drittverantwortlichkeiten. Wegen dem Zeitpunkt der Massnahmen 2021 kurz vor dem massiven Erdrutsch können solche aber auch nicht ohne Weiteres ausgeschlossen werden.

Die glarnerSach beauftragte die Experten der GEOTEST AG und der Dr. Vollenweider AG mit der Beurteilung zur Klärung der Frage, ob es im Zusammenhang mit der Strassensanierung 2020/2021 irgendwelche Verantwortlichkeiten gibt, welche klar verletzt wurden.

Die GEOTEST AG untersucht die Frage aus geologischer Sicht, die Dr. Vollenweider AG aus geotechnischer Sicht. Die Ergebnisse sind in detaillierten Einzelberichten dargestellt. Der vorliegende Synthesebericht fasst die wichtigsten Resultate beider Berichte zusammen.

1.2 Vorgehen

- Die Experten definierten gemeinsam mit der glarnerSach die wesentlichen Fragestellungen und klärten das weitere Vorgehen.
- 30.4.2024 Sitzung der Experten in Glarus mit der glarnerSach, der Gemeinde und deren externen Beratern für den Steuerungsausschuss. Dokumentenübergabe.
- Sichten und Studium der Unterlagen, erste Analyse
- 14.5.2024 Begehung vor Ort der GEOTEST AG mit den Projektgeologen Klaus Louis und Lorenz Grämiger
- 14.6.2024 in Glarus Sitzung der Experten mit der glarnerSach und den externen Beratern für den Steuerungsausschuss der Gemeinde zum Stand der Arbeiten und der Erkenntnisse.
- 12.7.2024 in Ziegelbrücke mündliche Befragung der Marty AG M. Gächter und C. Rhyner durch die Dr. Vollenweider AG.
- 24.7.2024 Schriftliche Zusatzbefragung im Mailverkehr der Dr. Vollenweider AG an Marty AG, M. Gächter am 24.7.2024.
- Austausch der Experten zur Abstimmung der geologischen und geotechnischen Beurteilung am 22.7.2024 in Zürich.
- 15.8.2024 in Glarus Sitzung der Experten mit der glarnerSach, und den externen Beratern für den Steuerungsausschuss der Gemeinde. Zur Präsentation der Erkenntnisse und Besprechung der Berichte im Entwurf.

- 26.8.2024 Berichte und Powerpoint durch Experten fertiggestellt, Abgabe und Präsentation an glarnerSach in Glarus, Vorbesprechung der Information an Gemeinde und Presse.

1.3 Beurteilung

Eine ausführlichere Auslegeordnung und Beurteilungen sind in den Berichten der Experten enthalten:

[A] Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise Geologie, Historische Einordnung des Ereignisses, Geologische Fragen, 15.8.2024, GEOTEST AG

[B] Glarus Süd, Wagenrunse, Geotechnische Beurteilung zu möglichem Zusammenhang Strassensanierung 2020/2021 mit Rutschereignissen 2023, 20.8.2024, Dr. Vollenweider AG

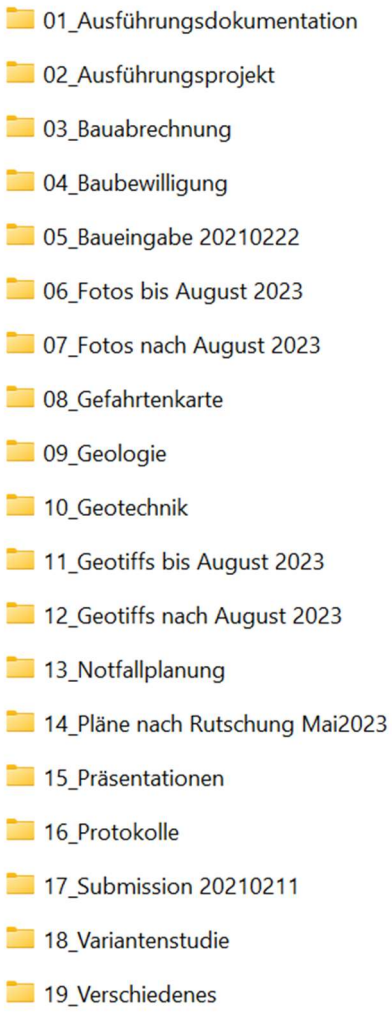
1.4 Unterlagen

[1] Swisstopo: Topographische und geologische Karten und geologische Profile, schattierte Reliefbilder, Luftbilder, etc., www.map.geo.admin.ch, Einsicht Juni/Juli 2024.

[2] Oberholzer, J. 1954: Geologische Karte des Kantons Glarus 1:50'000, Schweizerische Geologische Kommission.

[3] Schielly, Hanspeter, 1981: Geologische Karte des westlichen Freiberges (Kt. Glarus), 1:10'000, Naturforschende Gesellschaft Glarus.

[4] Unterlagen Projekt: Von der glarnerSach wurden uns umfassende Unterlagen bezüglich des Projektes samt geologischen Daten und Fotodokumentationen übergeben. Der Datenordner enthält folgende Unterordner:



A Sachverhalt aus geologischer Sicht

2. Historisches

2.1 Topographische Karteninfo, Luftbilder

Das von der heutigen Gefährdung betroffene Gebiet ist in Bild 1 ersichtlich. Das Siedlungsgebiet entlang der Plattenaustrasse, Plattenaugasse und der Herrenstrasse bis Plattenau reicht bis an die Linth im Westen und an den Sernf im Norden.

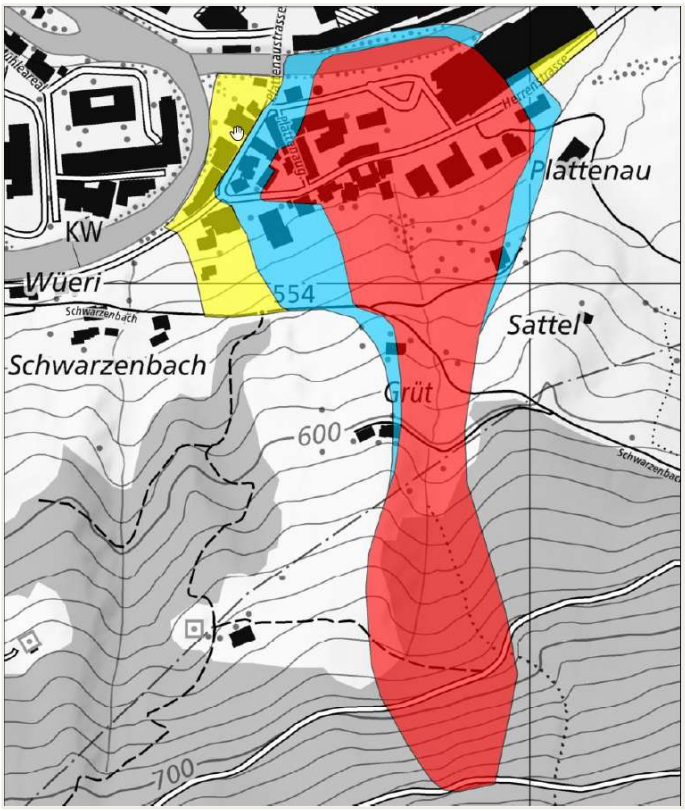


Bild 1 Gefahrenkarte September 2023: Aus der Notfallplanung 2023, Marty, Ingenieure AG, Version 3.1 vom 28. September 2023.

Die nachfolgenden Aussagen sind in Anhang 2 anhand Kartendokumenten dokumentiert.

- Die ersten Karten der Swisstopo [1] zeigen schon ab 1859 erste Bauten im Bereich Plattenaustrasse, Plattenaugasse und Herrenstrasse. Das Gebiet ist damit schon vor 1859 besiedelt gewesen.
- Mit der Zeit entstanden mehr Bauten. Schon 1879 war das Gebiet sehr stark bebaut. Ab 1984 sind dann auch die grossen Industriegebäude östlich des Grütbachs bei Plattenau dazugekommen.

- Auf keiner der Karten von 1855 - 2020 ist ein grosser Schuttfächer oder Ablagerungen von Murgangereignissen erkennbar. Auch auf den Luftbildern ab 1955 sind nie Spuren von grossen Naturereignissen, wie sie 2020 und 2023 aufgetreten sind, sichtbar.
- Die Niederentalstrasse ist erstmals 1932 auf einer Karte der Swisstopo ersichtlich. Es ist auf allen Luftbildern ab 1955 die Strasse erkennbar, Rutschanzeichen mit Waldschäden sind aber nirgends auf den Luftbildern zu entdecken.

2.2 Geologische Karten

Weder auf der geologischen Karte des Kantons Glarus 1:50'000 von J. Oberholzer 1942 [2] noch auf der Karte des westlichen Freiberges 1:10'000 von Hanspeter Schielly 1981 [3] sind im Gebiet Wagenrus Spuren von grossen Rutschungen und Murgängen kartiert (Anhang 3). Beide Karten weisen die Bedeckung als Moräne aus. Ein Schuttfächer am Hangfuss ist nicht kartiert. Auch keine Hinweise auf Sackungen sind zu sehen. Der mögliche Verlauf der Glarner Hauptüberschiebung ist nicht skizziert.

In den heutigen geologischen Karten (Swisstopo [1], siehe Anhang 4) ist eine Geländenische (Erosionsnische) kartiert. Die Runsenbedeckung und der Hangfuss sind als Moräne kartiert. Es ist kein Schuttfächer am Hangfuss ausgeschieden. Die heutige geologische Karte zeigt grosse versackte Felsbereiche im obersten Bereich der Wagenrus und westlich davon. Der mögliche Verlauf der Glarner Hauptüberschiebung ist deutlich unterhalb der Niederentalstrasse mit einer gestrichelten Linie angedeutet.

2.3 Ereigniskataster, Gefahrenkarte

Im Ereigniskataster des Kantons Glarus sind keine grossen Ereignisse aus der Wagenrus erfasst.

Die Gefahrenkarte 2016 weist eine Hangmurengefährdung starker Intensität an den Rändern der Wagenrusnische aus. Oberhalb der Niederentalstrasse und in der Runse selbst bis zu den obersten Häusern an der Herrenstrasse ist mittlere Intensität ausgeschieden. Mittlere Intensität bedeutet: Mobilisierbare Schicht bis 1 m mächtig, Ablagerungen 0.5 – 1 m mächtig.

Die Gefahrenkarte weist im Ausbruchbereich keine permanenten Rutschungen aus. Die Bäume entlang der Niederentalstrasse stehen gerade und die Strasse selbst zeigte seit ihrer Erstellung seit ca. 1932 bis 2020 keine Absenkungen.

2.4 Zusammenfassung Karten- und Archivstudium

Die Geländeform wurde seit der letzten Eiszeit geprägt. Die Geländeform der Wagenrus im Bereich der Niederentalstrasse zeigt, dass hier früher Material herausgerutscht ist. Es hat sich aber kein ausgeprägter Schuttfächer am Fuss der Wagenrus ausgebildet. Vielmehr ist der Hangfuss mehr oder weniger gleichförmig mit Moräne bedeckt.

Es sind in den existierenden topographischen und geologischen Karten, aber auch im Ereigniskataster und der Gefahrenkarte keine Ereignisse des Ausmasses 2020 und 2023 dokumentiert oder erkennbar. Die Daten reichen bis zur ersten Karte der Schweizerischen Landestopographie von 1859 zurück.

Der grosse Lawinenwinter 1910 mit den nachfolgenden Überschwemmungen im Frühjahr 1910, ebenso der vergleichbare Lawinenwinter 1999 mit den Überschwemmungen und Rutschungen im Frühjahr 1999 (z.B. Rutschung Braunwald) und auch die Unwetter vom August 2005 führten zu keinen dokumentierungswürdigen Ereignissen in der Wagenrus. Es kam auch zu keinen nennenswerten Strassenabsenkungen in der Niederentalstrasse von 1932 bis 2020.

2.5 Interpretation, Folgerung

Die Beobachtungen können so interpretiert werden, dass es schon alte Rutschungen ähnlicher Art gegeben haben könnte, die Ablagerungen am Hangfuss aber von einem oder mehreren spätglazialen Gletschervorstössen eingeebnet oder abtransportiert worden sind. Die Rutschungen wären daher mehrere tausend Jahre alt. Kleinere Rutschbewegungen in der Runse sind normal. Grosse Ereignisse, wie sie 2020 und 2023 stattfanden, sind aufgrund der Geländeformen sehr ungewöhnlich und äusserst selten. In den dokumentierten letzten 170 Jahren sind sie nie in der Art vorgekommen.

3. Geologie

3.1 Wissensstand Geologie heute, nach den Ereignissen 2023

In der Wagenrus treffen drei wichtige Elemente zusammen (Anhang 6, Anhang 7):

- Der Lochsitenkalk (Bewegungszone der Glarner Hauptüberschiebung (Anhang 5 und 7)
- Der hinterste Abrissrand der grossen Sackung von Hasle (Anhang 6)
- Quellen am Sackungsrand (alte versiegte Quellen, heutige Quellfassungen und ungefasste Quellen), Lochsitenkalk als Quellhorizont (Anhang 6/7)

Die Verrucano-Gesteine oberhalb der Glarner Hauptüberschiebung sind infolge ihrer Klüftung relativ wasserdurchlässig. Der Flysch unterhalb der Überschiebung dagegen wirkt als Wasserstauer. Der Lochsitenkalk ist einfacher wasserlöslich als der unterliegende Flysch und dient daher als Fliessweg. Er ist vor Ort eindeutig als deutlicher Quellhorizont in der Ausbruchnische erkennbar (Anhang 7). Er ist in der Bohrung von 2023 auf der Niederentalstrasse unmittelbar oberhalb der Rutschnische in 55 - 57 m Tiefe erbohrt und dort praktisch zu Sand aufgelöst (siehe Anhang 8).

Die Gesteine in der komplex aufgebauten Sackung von Hasle mit vermutlich mehreren Sackungsphasen sind aufgelockert und können auch viel Wasser speichern. Der Verlauf des hinteren Sackungsrandes ist bis zum Schnittpunkt mit dem Lochsitenkalk in der Wagenrus verfolgbar (Anhang 6). Die Sackungsfläche kann von dort entweder entlang dem aufgelockerten Lochsitenkalk verlaufen oder durch den Lochsitenkalk in den verfalteten Flysch hinunterziehen.

Die Verteilung der Quellen auf der geologischen Karte ist stark konzentriert auf Schnittpunkte zwischen Sackung und Lochsitenkalk, oder Sackung und tektonische Bruchzone (vgl. Anhang 6). Die eingezeichnete tektonische Bruchzone hat vermutlich als Bewegungsfläche während den verschiedenen Sackungsphasen fungiert und scheint die Grosssackung in 2 Teilbereiche aufzugliedern (Sackungsteil 1a und 1b in Anhang 6). Die Sackung Teil 2 erfolgt nur in der südlichen Teilscholle 1b und schlägt gemäss Kartierungen deutlich durch die Moräne, wodurch sie als der jüngste Teil der Sackungsbewegungen interpretiert werden kann.

3.2 Wissenstand 2020

Der Wissensstand 2020 wurde im Geologischen Bericht der Louis Ingenieurgeologie im Januar 2021 sehr umfassend aufgearbeitet und dokumentiert. Ihm standen die Resultate von zwei 2020 abgeteuften Sondierbohrungen (SB1/20: 15.5 m, SB2/20: 21 m) beidseits der Strasse zur Verfügung. In kurzer Zeit wurden wichtige Aussagen gemacht und auch ein möglicher ursächlicher Zusammenhang mit den Erdbeben 2020 in Elm hergestellt.

Der Bericht weist auf den versackten Glarner Verrucano über Lochsitenkalk und Flysch hin. Er erkennt den Lochsitenkalk als Quellhorizont (Bild 2). Die Sackungsstrukturen sind angedeutet, die Wasserinfiltration im Verrucano und das Fliessen entlang des Lochsitenkalkes ist ebenfalls skizziert. Die Moränenfüllung der Wagenrus ist skizziert. Der Gleithorizont 2020 ist mit dicken roten Strichen skizziert (in ca. 5 m Tiefe), potentielle tieferliegende Horizonte aufgrund der Sondierbohrung SB2/1 mit dünnen roten Linien (bis ca. 14 m Tiefe).

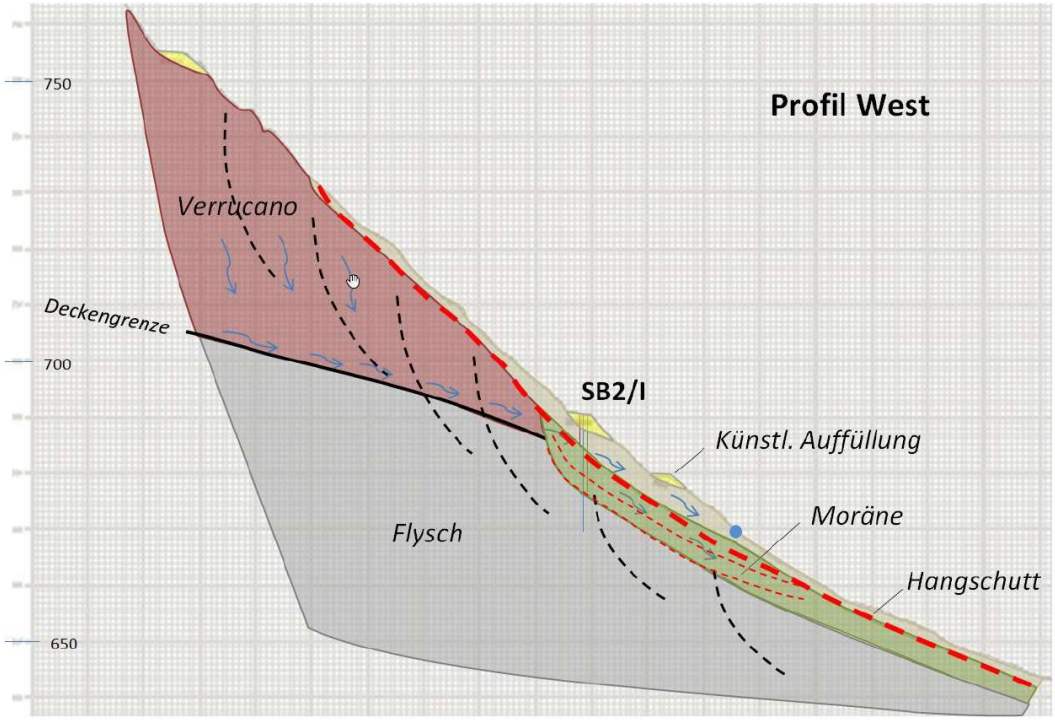


Bild 2 Profilskizze von Louis Ingenieurgeologie vom 19.01.2021.

Dieses geologische Modell diente als Grundlage für die Risikoabschätzung, die Prüfung von Sanierungsvarianten und die Planung von Sanierungsmassnahmen. Mit Sondierungen und Messungen wurde es laufend geprüft und modifiziert. Die Inklinometermessungen zeigten rasch, dass die tiefen Gleitflächen in der Wagenrus auch langsame Bewegungen machten. Dies wurde aber für die Sanierung als Risiko akzeptiert.

Die Rutschungen im Glarner-Verrucano über der Strasse wurden im Modell als maximal 2 – 3 m mächtig und der Verrucano stark aufgelockert beurteilt.

3.3 Wissensstand 2023 bis heute

Die Bewegungen klangen nach den Sanierungsmassnahmen ab, stoppten aber nie vollständig. Trotzdem konnte davon ausgegangen werden, dass die getroffenen Massnahmen wirksam sind.

Im April 2023 wurden dann aber Bewegungsanzeichen in der Rutschmasse unter der Strasse, Risse in der Strasse selbst und Spannungen und Stauchungen in der Netzabdeckung über der Strasse festgestellt, welche auf eine erneute Beschleunigung hindeuteten. Der Bericht der Dr. von Moos AG dokumentiert die Entwicklung der Rutschbewegungen anhand der Auswertung der geodätischen Messungen. Es erfolgten schrittweise immer zuerst Bewegungen in der Rutschmasse unten, welche dann mit Verzögerungen von 1 – 2 Tagen auch zu Bewegungen hangaufwärts führten. Dies führte dazu, dass das

Notfallkonzept für das Siedlungsgebiet angepasst und verschärft wurde. Die genaue Lage der Glarner Hauptüberschiebung war aber nicht ersichtlich.

In der Rutschnische vom 29.08.2023 zeigt sich dann erstmals die genaue Lage und die Bedeutung der Glarner Hauptüberschiebung mit dem Lochsitenkalk (Anhang 7). Entlang der ganzen Rutschbreite querte dieser Quellhorizont die Ausbruchnische. Seine genaue Lage unmittelbar oberhalb des Strassentrasses wurde sichtbar. Durch den Ausbruch der Lockergesteinsrutschung mitsamt der sanierten Strasse brachen oben auch übersteile versackte Partien aus dem Verrucano ab. Die blockigen Ablagerungen über der Rutschmasse sind auf den Bildern gut erkennbar (Anhang 7). Die Verankerung der Oberflächensicherung konnte diese nicht zurückhalten, die meisten Anker blieben aber im Fels stecken.

3.4 Neuste Erkenntnisse Sondierbohrung SB1/2023

Ein Ausschnitt der Bohrkernaufnahme der Dr. von Moos AG und die Fotodokumentation zu diesem Abschnitt sind in Anhang 8 beigelegt. Es ist anstelle des bekannten Lochsitenkalkes über dem Flysch ein Mittel- bis Grobsand mit Resten von Verrucano erbohrt worden. Der Sand ist nass und locker gelagert. Der Lochsitenkalk im Bereich von 52 m – 55.8 m ist ausgelaugt. In der Bohrung sind keine klar erkennbaren Lochsitenkalk Stücke mehr erhalten.

Der Lochsitenkalk oder die Glarner Hauptüberschiebung als Quellhorizont mit so starken Auflösungserscheinungen ist in der Literatur nirgends erwähnt. In den Erläuterungen zum Kartenblatt 1155 Sargans, Geologischen Atlas der Schweiz [1], ist einzig folgendes erwähnt: «Die Glarner Hauptüberschiebung bildet im Weisstannental abschnittsweise einen Quellhorizont.»

3.5 Ursachenanalyse aus heutiger Sicht mit heutiger Kenntnis

<u>Grunddisposition:</u>

Wie unter Kapitel 3.1 erläutert, sind 3 geologische Auffälligkeiten vorhanden, welche in der Wagenrus zusammentreffen:

- Der Lochsitenkalk (Bewegungszone der Glarner Hauptüberschiebung) oder Reste davon
- Der hinterste Abrissrand der grossen Sackungen von Hasle (mehrere Teilsackungen), dadurch ist das hydrogeologische Einzugsgebiet im Felsuntergrund deutlich grösser als das hydrologische für den Oberflächenabfluss
- Quellen am Sackungsrand (alte versiegte Quellen, heutige Quellfassungen und ungefasste Quellen), Lochsitenkalk als Quellhorizont

Die Quellaustritte hängen sicher mit den beiden tektonischen Strukturen zusammen. Praktisch alle Quellen liegen tiefer als das Niveau der Glarner Hauptüberschiebung. In der Wagenrus vermochten bis 2020 die bedeckenden Moränenschichten den Hang zu stützen.

Das Quellwasser wurde bei grossen Austrittsstellen an vielen Stellen entlang/unterhalb des Lochsitenkalkes gefasst, der Rest versickerte diffus in die Lockergesteinshänge unter der Glarner Hauptüberschiebung.

Variable Disposition:

Die Variabilität der Schüttmengen der Quellen ist Ausdruck des schwankenden Wasserdruckes im Hang. Dieser korrespondiert verzögert mit den Niederschlägen und der Schneeschmelze in höheren Regionen des Freibergs. Es konnte sich bis 2020 nur ein Wasserdruck im Hang und im Glarner Verrucano über der Glarner Hauptüberschiebung aufbauen, welcher durch die Lockergesteinsbedeckung in der Wagenruse ausgeglichen werden konnte.

Auslösendes Ereignis:

Die Erdbebenserie im Sommer 2020 führten durch Erschütterung und vermutlich begleitenden unterirdischen Bewegungen zu Veränderungen der Wasserfliesswege. Wir gehen davon aus, dass gewisse Austrittstellen, welche nicht zwingend in der Wagenruse lagen, verschlossen wurden und sich dadurch ein bisher unbekannt hoher Wasserdruck im Kluft- und Sackungssystem über der Glarner Hauptüberschiebung ausbilden konnte. Dieser Druck überstieg am 8. Dezember 2020 die rückhaltenden Kräfte der Moränenbedeckung in der Wagenrus und führte zu ersten Rutschbewegungen. Nach dem Ereignis waren sehr starke nachfliessende Wasseraustritte zu beobachten, obwohl keine starken Niederschläge vorgängig zu verzeichnen gewesen waren.

Die Veränderung von Wasserfliesswegen in versackten Gebieten nach Erdbeben konnte z.B. nach den heftigen Niederschlägen 2005 mit mehreren begleitenden Erdbeben ca. der Stärke 2.5 in Alpnach, Obwalden, im Steinbruch Guber beobachtet werden. Die Entwässerung im Steinbruch musste nach dem Ereignis vollkommen neu angelegt werden, da die Wasserfliesswege geändert hatten.

Aussergewöhnlicher Prozess beim Ereignis vom 29. August 2023:

Nicht nur die geologische Grunddisposition ist aussergewöhnlich, auch die Art, wie das Ereignis vom 29. August 2023 ablief, ist nirgends in der Schweiz in dieser Art dokumentiert. Die Rutschung ging in eine Art schnellen Murgang über, welcher bis an den Hangfuss eine tiefe Rinne in den gewachsenen Untergrund riss. Die tiefe Erosion des murgangartigen Abgangs vom 29. August 2023, welche zu einer tiefen Erosionskerbe bis an den Hangfuss führte, war gemäss damaligen Wissenstand nicht vorhersehbar. Man konnte eher eine flächige Ausbreitung über den Hang erwarten.

Die begleitenden Geologen erfassten sowohl die Grunddisposition, die variable Disposition und die Erdbeben als möglichen Auslöser bereits grösstenteils richtig. Die Bedeutung der Glarner Hauptüberschiebung als «Drainagehorizont» eines sehr grossen hydrogeologischen Einzugsgebietes und das Ausmass der Sackungen erfassten sie aber nicht in ihrer ganzen Tragweite.

4. Notfallmassnahmen

Die Sofort- und Notfallmassnahmen wurden nicht im Detail untersucht. Es werden nachfolgend nur einige Betrachtungen gemacht.

Die Überarbeitung der Gefahrenszenarien und der Risiken nach dem Ereignis im Dezember 2020 und nach den Bewegungen vom April und Mai 2023 erfolgten rasch. Die erarbeiteten Notfallkonzepte reagierten umgehend auf die neuen Erkenntnisse. Die Inputs für die Notfallkonzepte waren fachlichen korrekt und wurden richtig umgesetzt. Die Konzepte berücksichtigten auch Reserven für die Unsicherheiten.

Die notfallmässig gestarteten Sofortmassnahmen verbesserten den Wasserhaushalt in der Rutschmasse.

Angesichts des Umstandes, dass bei Notfallkonzepten die Kommunikation bei den Betroffenen herausfordernd und die Umsetzung, vor allem von Evakuationen, sehr anspruchsvoll ist, kann festgehalten werden, dass auch hier professionelle Arbeit geleistet wurde.

Es kann festgehalten werden, dass es dank des Notfallkonzeptes keine Personenschäden gab.

B Geotechnische Sicht

5. Sachverhalt aus geotechnischer Sicht

5.1 Ereignis 2020

Sowohl das untenliegende Siedlungsgebiet als auch die Niederentalstrasse, welche den Hang mehrmals quert, konnten seit der Erstellung bis zum Ereignis 2020 problemlos genutzt werden. Unerwartet hat sich im Dezember 2020 ein Rutsch ereignet. Das Foto der Rutschung vom 8.12.2020 im Anhang 1 zeigt die verschüttete Strasse.

Dringlichkeit und Sofortmassnahmen

Es mussten umgehend und in kürzester Zeit die Situation analysiert sowie Sofort- und Vorbereitungsmassnahmen geplant und umgesetzt werden:

- Sperren der Strassenverbindung
- Geologische Beurteilung
- Überwachungsmassnahmen, Einrichten von Messstellen
- Fassen von Wasser
- Abtransport von Ablagerungsmaterial
- Abholzen

- Massnahmenkonzept und Projektieren von Massnahmen
- Und weiteres mehr

Der Wiederaufnahme der Zufahrt ins Niederental wurde hohe Priorität zugeteilt.

Rutschmechanismus

Der Rutschmechanismus wurde analysiert und beschrieben als:

- talseitig der Strasse spontane Verschiebung des mittelgründigen Rutschkörpers auf der aktiven Gleitfläche um 0.5 bis 1 m
- in der Folge oberflächlicher Erdrutsch (1 bis 2 m) der ohnehin schon knapp stabilen Baugrundschichten oberhalb der Strasse
- Auslöser war der veränderte Hangwasserhaushalt.

Talseitig der Strasse wurden in grösserer Tiefe noch weitere potentielle Gleitflächen vermutet. Siehe auch Bild 2.

Es wurde darauf hingewiesen, dass einige Unsicherheiten im Modell bestehen. Zum Beispiel war die Tiefe des Rutschkörpers talseitig der Strasse nicht durch Messungen bekannt, sondern musste aufgrund von Indizien abgeschätzt werden.

5.2 Massnahmenkonzept 2021 nach dem Erdrutsch 2020

Die Massnahmenkonzepte und das Projekt wurden teilweise parallel zu den geotechnischen Untersuchungen unter enormem Zeitdruck und über den Jahreswechsel in gut 2 Monaten erarbeitet.

Massnahmenkonzept zur Begegnung der Naturgefahren

- Risikoanalyse Siedlungsgebiet
- Risikoanalyse für Verkehrsträger
- Überwachen
- Wasser fassen und Ableiten mit dem Ziel, den Wassereintrag in die Rutschmasse zu verringern und damit die Verschiebungen zu verlangsamen.
- Entfernen des Ablagerungsmaterials
- Aufforsten

Massnahmenkonzept zur Wiederherstellung der Verkehrsverbindung

- Variantenvergleich verschiedener Linienführungen
- Variantenwahl Wiederaufbau in unveränderter Lage. Der Wiederaufbau wurde als zweckmässiger als die untersuchten alternativen Strassenführungen beurteilt (u.a. wegen unbekannter Risiken anderer Strassenführungen).

- Akzeptieren geringer Bewegungen talseitig mit Mitrutschen der Strasse
- Stützung / Wiederherstellung der talseitigen Strassenböschung
- Stützung der bergseitigen Böschung
- Schutz vor Naturgefahren (Steinschlag und Gleitschnee)

5.3 Baumassnahmen

5.3.1 Massnahmen zur Begegnung der Naturgefahren

- Entwässerungen
- Abtrag Ablagerungsmaterial
- Steinschlagnetze
- Gleitschneenetze
- Aufforsten.

Die massgebende Massnahme zur Verbesserung der Situation des talseitigen Hanges, war das konsequente Fassen und Ableiten des austretenden Wassers, des Drainagewassers und der Quellen bzw. deren Überlauf sowie die Anordnung von Drainageleitungen entlang der Strasse. Ebenfalls von Bedeutung war das Entfernen des Ablagerungsmaterials.

Es waren bergseitig Drainagebohrungen (12 m, 10° steigend) geplant. 2 Stück wurden ausgeführt und mit Rohren ausgerüstet. Bei der dritten Bohrung ereignete sich örtlich ein Niederbruch. Als Massnahme wurde dort ein Holzkasten mit dahinterliegender Drainage erstellt. Es konnten keine weiteren erfolgsversprechenden Standorte für Drainagebohrungen mehr gefunden werden. Weitere Bohrungen drängten sich nicht auf, da die Entwicklung der Verschiebungsgeschwindigkeiten günstig war (siehe Anhang Befragung Marty AG, Antworten auf Fragen 18 und 19).



Bild 3
Auszug aus Ausführungsplan. Links auf dem Bild die Niederentalstrasse. Braun eingetragen neue Holzkännel, blau die Wellblechableitung.

Wo der Untergrund in Bewegung war, musste der bergseitige Hang als Arbeitssicherheitsmassnahme abgeholzt werden. Die Abdeckung mit Tecco-Netzen und die Avatec-Netzreihen wurden zum Schutz der Strasse vor Sturzprozessen (Steinschlag, Holzschlag) und Gleitschnee erstellt.

Eine punktuelle Aufforstung zur oberflächlichen Entwässerung im Bereich der Tecco-Netze war geplant, aber noch nicht ausgeführt, da zuerst bezüglich der Schneegleitprozesse Erfahrungen gesammelt werden sollten.

5.3.2 Massnahmenkonzept zur Wiederherstellung der Verkehrsverbindung

- Akzeptieren geringer Bewegungen talseitig, Mitrutschen der Strasse
- Stützung/Wiederherstellung der talseitigen Strassenböschung
- Stützung der bergseitigen Böschung.
- Schutz der Strasse vor Steinschlag und Gleitschnee

Der Strassenkörper wurde im Wesentlichen mithilfe eines talseitigen Verbaus, auch Ankerwand genannt (HEB Träger, Seilanker, Profilbleche für Ausfachung, Drainageleitung) wiederhergestellt und gesichert. Mit einem analogen Verbau wurde auch der bergseitige Geländesprung gesichert. Wo die alte Stützmauer noch stand, wurde sie mit Netzen eingepackt und mit Ankern gesichert. (Bild 4).



Bild 4
Foto IMG_4204JPG (25.8.2021) Überblick. Hangseitig liegendes verankertes Tecco-Netz mit stehenden Schneegleitschutznetzen. Talseitig der Strasse und im Hintergrund bergseitig der Strasse die Verbauten. In Bildmitte bergseitig entlang der Strasse die eingepackte, verankerte Stützmauer.

5.4 Überwachung und Unterhalt

Mit Überwachung (3 Inklinometer, 2 Piezometer, zahlreiche geodätische Punkte) wurde das Verschiebungsverhalten des Hanges während und nach den Arbeiten überwacht.

Zudem wurden der Hang und die Entwässerungen regelmässig in Augenschein genommen und auf Veränderungen untersucht. Die Drainagen wurden unterhalten.

5.5 Weiteres

Für die verbleibenden Naturgefahrenrisiken wurden organisatorische Massnahmen festgelegt. Den verbleibenden Naturgefahren wurde mit Notfall- und Evakuationsplänen begegnet (siehe Abschnitt 4).

5.6 Bauarbeiten

Auf die Sofortmassnahmen direkt nach dem Rutsch wird hier nicht eingegangen.

Die Arbeiten für die Strassensanierung starteten rund 2 Monate nach dem Rutsch. Sie erfolgten im sehr steilen, nassen Hang. Wegen Steinschlag und Niederbrüchen wurden immer wieder Arbeitssicherheitsmassnahmen erforderlich und es war Flexibilität gefordert.

Es wurden verschiedene Bohrverfahren für die Anker und verschiedene Ankertypen eingesetzt. Die HEB Träger wurden in unverrohrten Bohrungen versetzt und verfüllt bzw. einvibriert.

Die letzten Bauarbeiten wurden ca. im November 2021 ausgeführt.

Der Ingenieur beurteilt die Qualität der Bauarbeiten als sehr gut. Die Unternehmungen haben aus seiner Sicht sorgfältig gearbeitet.

5.7 Statik

Das Bauvorhaben wurde aufgrund von Erfahrung geplant und dimensioniert. Die rechnerischen Nachweise erfolgten erst nachträglich (Ende Bauarbeiten) durch ein Drittbüro und betreffen die Hangstabilität.

5.8 Überwachungsresultate, Prüfung Wirksamkeit, Unterhalt

Es liegen die Messungen von drei Inklinometern vor. Inklinometer 1 (SB2) wurde von der Niederentalstrasse im Rutschbereich abgeteuft. Er war vom 23.1.2021 bis zum 31.10.2022 messbar. Inklinometer 2 liegt ebenfalls an der Niederentalstrasse aber oberhalb des Anrisses, wo die Strasse den Hang nochmals quert. Er wurde ab dem 16.3.2021 gemessen. Der Inklinometer 3 liegt im Anrissgebiet und war vom 1.6.2021 bis Ende April 2023 messbar.

<u>Inklinometer 1</u>

Schon bei den ersten Messungen wurden leichte Verschiebungen gemessen, und zwar nicht nur in der aktiven Gleitfläche (Rutschmechanismus Bild 2), sondern auch in den potentiellen Gleitflächen (Bild 7). Der Hang hat sich seit dem Rutsch vom Dezember 2020

noch nicht vollständig beruhigt. Im Laufe der Bauarbeiten verlangsamten sich die Geschwindigkeiten.

- Verschiebungsgeschwindigkeit Inklinometerkopf während Bau 11 mm/Mt. (zuerst 22 mm/Mt. dann 6 mm/Mt)
- Totale Verschiebungsgeschwindigkeit Inklinometerkopf nach Bau bis Oktober 2022 von ca. 0.4 mm/Mt. (5 mm/Jahr)

Inklinometer 3

Der Inklinometer 3 wurde erstellt, als die Bauarbeiten schon fortgeschritten waren. Entgegen den Erwartungen war schon in den ersten Messungen ein tiefgründiger Gleithorizont erkennbar (Bild 8):

- Totale Verschiebungsgeschwindigkeit Inklinometerkopf während Bau knapp 8 mm/Mt.
- Totale Verschiebungsgeschwindigkeit Inklinometerkopf nach Bau bis Anfang April 2023 knapp 1 mm/Mt. (10 mm/Jahr)
- Totale Verschiebung Inklinometerkopf 8. bis 26.4.2023 rund 24 mm.

Die starke und plötzliche Verschiebungszunahme, welche im Inklinometer 3 später, nach dem 8.4.2023 zwischen 12 und 9.5 m Tiefe gemessen wurde, hat sich nicht angekündigt (Bilder 5 und 6).

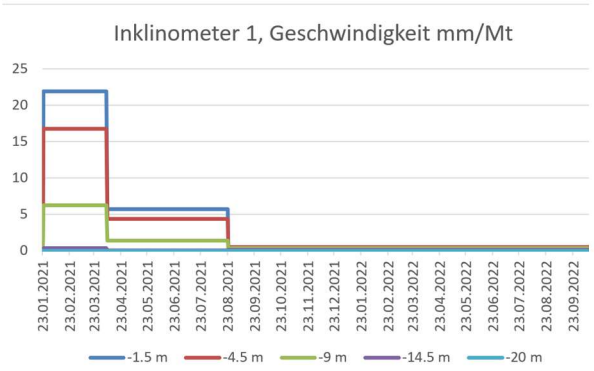


Bild 5 Eigene grafische Darstellung der Geschwindigkeitsentwicklung des Inklinometers I1 (SB2) in mm in verschiedener Tiefe.

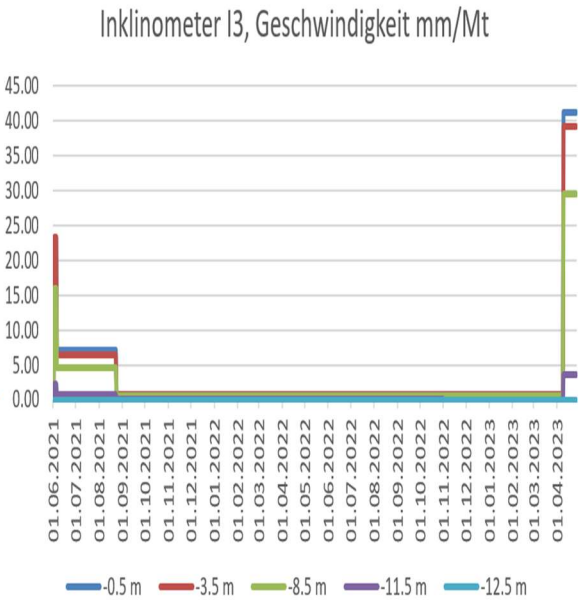


Bild 6 Eigene grafische Darstellung der Geschwindigkeitsentwicklung des Inklinometers 3 in mm in verschiedener Tiefe.

Inklinometer 2

Inklinometer 2 hat eine Länge von rund 11 m ab Strassenniveau. Er zeigt vom 16.3.2021 bis 26.4.2023 nur totale Verschiebungen im Rahmen von gut 2 mm. Mutmasslich ist der Inklinometer ausserhalb des Rutschkörpers. Allenfalls finden Verschiebungen unterhalb des Inklinometers statt.

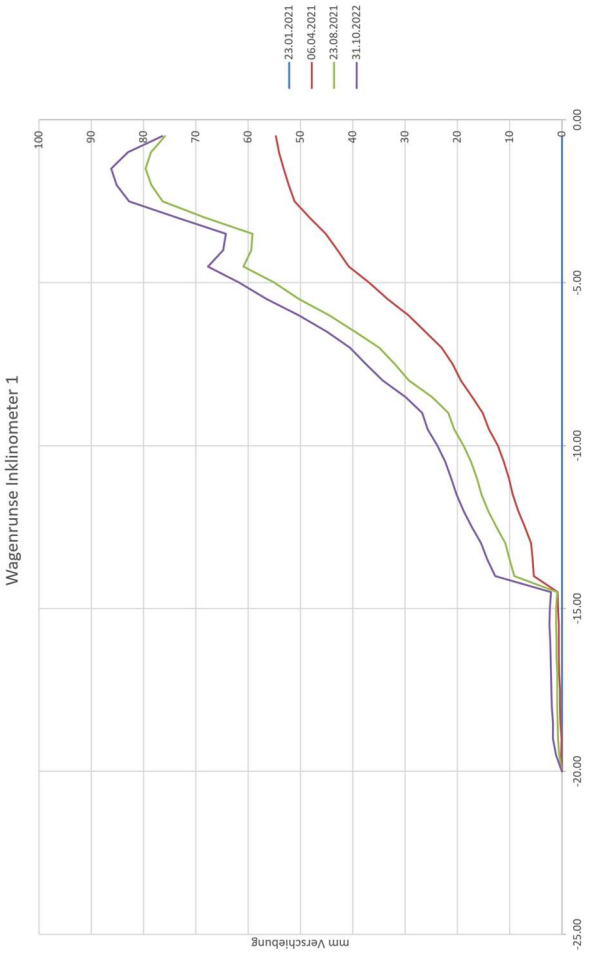


Bild 7 Eigene grafische Darstellung ausgewählter Messungen des Inklinometers I1 (SB2) in mm über die Tiefe. Die massgebliche Bauzeit (Sicherungen) dauerte bis Ende August 2021 (grüne Linie).

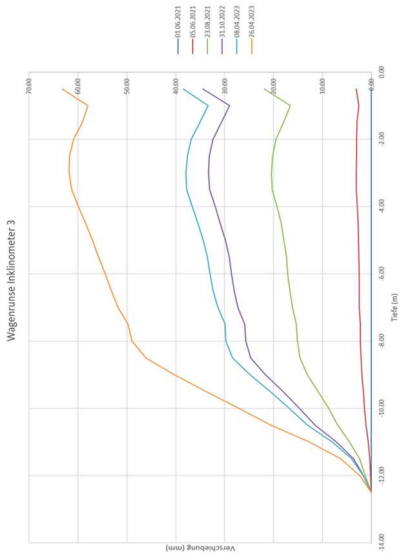


Bild 8 Eigene grafische Darstellung ausgewählter Messungen des Inklinometers I3 in mm über die Tiefe. Die Sicherungsarbeiten dauerten bis Ende August 2021 (grüne Linie).

5.9 Ereignisse April 2023 – Juli 2023

Die Messungen und Analyse der Geologen (Bild 9) zeigen, dass der Verschiebungsprozess im Hang unterhalb der Sicherung (Ankerwände) startete. Der Verschiebungsprozess geht offensichtlich nicht von den Baumassnahmen an Strasse und Hang aus.

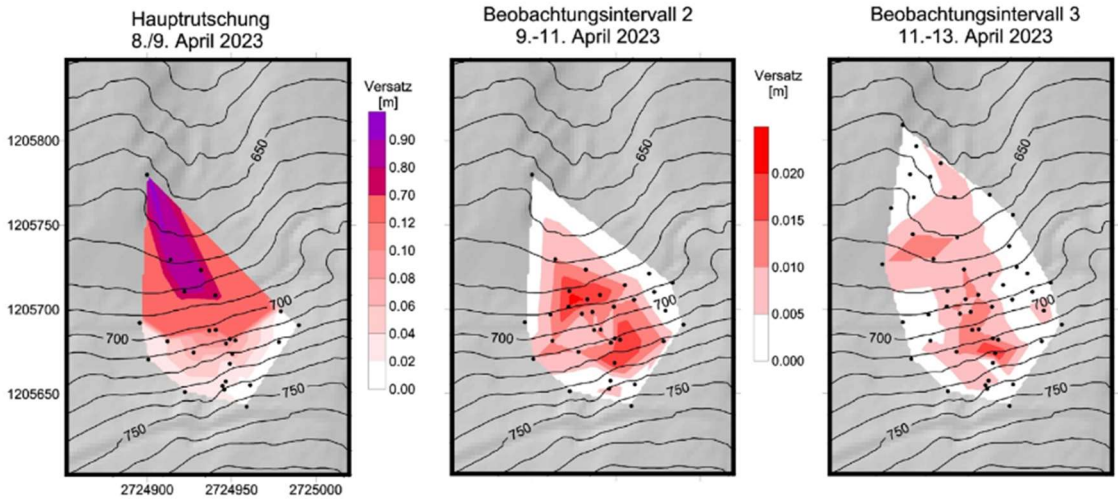


Abbildung 1 Interpolierte Deformationen zwischen geodätischen Messpunkten nach dem Rutschereignis am 7.4.2023 (Strasse ca. entlang Höhenlinie 690 m ü.M.), Marty Ingenieure AG, Schwändi

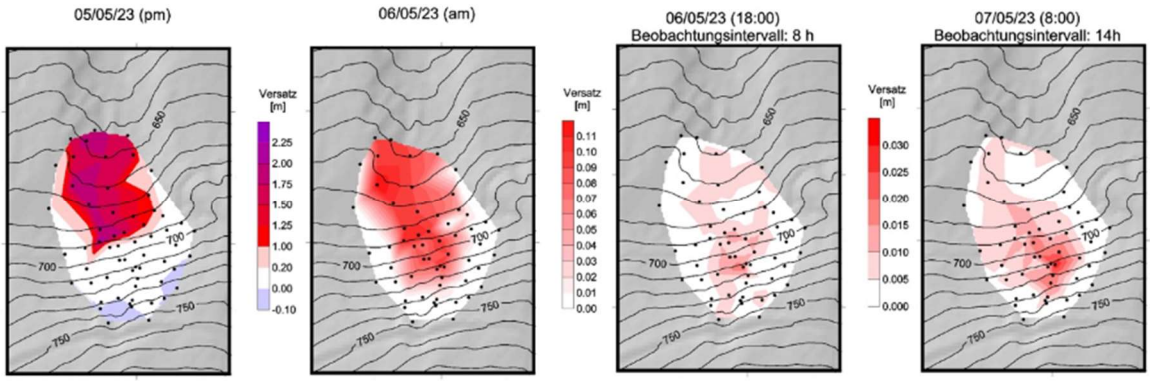


Abbildung 2 Interpolierte Deformationen zwischen geodätischen Messpunkten nach dem Rutschereignis am 5.5.2023 (Strasse ca. entlang Höhenlinie 690 m ü.M.), Marty Ingenieure AG, Schwändi

Bild 9 Auszüge aus Schwanden: Rutschung Wagenrunse, Ereignisse 7.4. und 5.5.2023 Geologische Beurteilung, Bericht Nr. 12901, 31. Juli 2023, Dr. von Moos AG.

Auf dem Foto (Bild 10) weist die Strasse bzw. der Verbau talseitig erste Absenkungen auf, ohne dass der Verbau versagt. Es ist festzustellen, dass der Hang oberhalb der Strasse zu diesem Zeitpunkt intakt ist.



Bild 10
Foto Nr. DJI_20230417112218_0022_V vom 17. April 2023. Die Strasse ist nach der Sackung leicht deformiert (Setzungsmulde und Ausbauchung). Talseitig sind Anrisse des Geländes sichtbar

Auf dem Foto (Bild 11) sind deutliche Risse und Absätze im Hang unterhalb der Strasse erkennbar. Auch die Strasse zeigt massgebliche Absenkungen mit einem deutlichen Versatz vor dem bergseitigen Verbau. Trotz der massiven Hangverschiebungen haben der talseitige und der bergseitige Verbau noch nicht versagt und stützten die Strasse und die Böschung.



Bild 11
Foto Nr. IMG-4911_jpg vom 6. Mai 2023. Die Strasse ist nach der neuerlichen Sackung deutlich deformiert (Setzungsmulde und Ausbauchung). Talseitig sind Anrisse in Weg und Gelände sichtbar. Der obere Verbau (Steinverkleidung vor dem Verbau sichtbar) und die mit Netzen gesicherte Stützmauer scheinen noch intakt.



Bild 12
Foto Nr. IMG-4977_jpg Mai 2023. Die Strasse hat sich massiv gesetzt. Der obere Verbau und die gesicherte vorbestehende Mauer scheinen noch intakt

Erst als die talseitigen Verschiebungen massiv wurden, hat der untere Verbau (Ankerwände) versagt (Bild 13). Die sichtbare Gleitfläche liegt gemäss Foto auf ca. 14 m Tiefe (ungefähr OK Flysch). Der Hang oberhalb hat als Folge der massiven talseitigen Verschiebungen versagt. Die Verschiebungsmessungen in Inklinometer I3 zeigen, dass hangaufwärts ein Gleitkörper von über 10 m Tiefe in Bewegung war.



Bild 13 Foto Nr. DCHO6871.JPG 21.8.2023. Die Strasse ist abgerutscht.

6. Beurteilung aus geotechnischer Sicht

6.1 Rutschmechanismus

6.1.1 Prognose 2020/2021

Unter Berücksichtigung des damaligen Wissensstandes beurteilen wir die Anfang 2021 gewählten Modelle für den Verschiebungsmechanismus und Baugrund (Bild 2) sowie die getroffenen Annahmen gemäss Abschnitt 5.1 und der Risikoanalysen als nachvollziehbar und als plausibel.

- Oberhalb der Strasse ist mit oberflächlichen Rutschungen zu rechnen.
- Oberhalb der Strasse bestehen Gefährdungen durch Schneegleitprozesse und Steinschlag.
- Der talseitige Rutschkörper mit Verschiebung von 0.5 bis 1.0 m im Dezember 2020 ist «mittelgründig» (4-6 m).
- Unterhalb der Strasse bestehen (inaktive) potenzielle Gleitkörper in grösserer Tiefe.
- Annahmen für die Variantenwahl des Trassees, dass a) die Rutschprozesse in der Wagenrunse sich nicht massiv weiter aktivieren, b) der massgebende Rutschhorizont im Bereich des Felskopfes nicht unter 6 m Tiefe liegt und c) dass nicht grosse Felsabbrüche die obere und untere Strasse gefährden und d) dass das vorbestehende Strassentrasse mit vernünftigem Aufwand erhalten und gesichert werden kann.
- Mit den Entwässerungsmassnahmen verlangsamt sich Rutschgeschwindigkeit massgeblich.
- Naturgefahr, besteht weiterhin, sodass Beobachtung und Notfallpläne erforderlich sind.

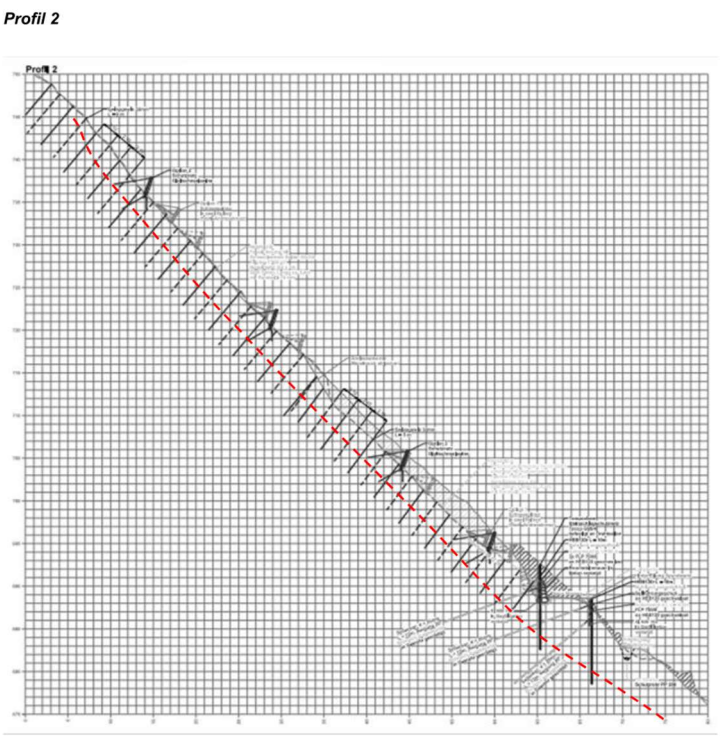


Bild 14
Auszüge aus Kritische Würdigung durch den Geologen Louis, Aktennotiz zu den Baueingabeplänen der Marty Ingenieure AG, Stand 16.2.2021, vom 22.2.2021

6.1.2 Angetroffene Verhältnisse

Es ist nicht alles eingetroffen, wie prognostiziert. Sehr früh wurde festgestellt, dass der Bewegungsmechanismus etwas anders ist, als erwartet:

- Die «potentiellen» Gleitflächen (Bild 2) unterhalb Strasse sind aktive Gleitflächen. Die Verschiebungsgeschwindigkeiten waren jedoch gering.
- Es gibt tieferliegende Gleitflächen auch weiter oben im Hang. Dies wurde erst im Juli 2021 festgestellt. Auch diese Verschiebungen waren moderat.
- Die neuen Erkenntnisse führten nicht zu einer Projektanpassung. Diesen Entscheid beurteilen wir unter Berücksichtigung des damaligen Wissensstandes und angesichts des gemessenen Verschiebungsverhaltens (moderate, abnehmende Geschwindigkeiten) und der fortgeschrittenen Arbeiten als nachvollziehbar.

Aufgrund der Ereignisse 2023 muss davon ausgegangen werden, dass sich die Hangwasserverhältnisse und Fliesswege weiter verändert haben, was nicht erwartet worden war:

- Die Verschiebungsgeschwindigkeiten unten im Hang wurden plötzlich sehr hoch.
- Schliesslich bildet sich ein murgangartiger Rutsch mit sehr viel Wasser aus, der so nicht erwartet wurde.

Die Dr. von Moos AG hat den Rutschmechanismus beschrieben in Rutschung Wagenrunse, Ereignisse 7.4. und 5.5.2023 Geologische Beurteilung, Bericht Nr. 12901, 31. Juli 2023 (siehe auch Bild 15).

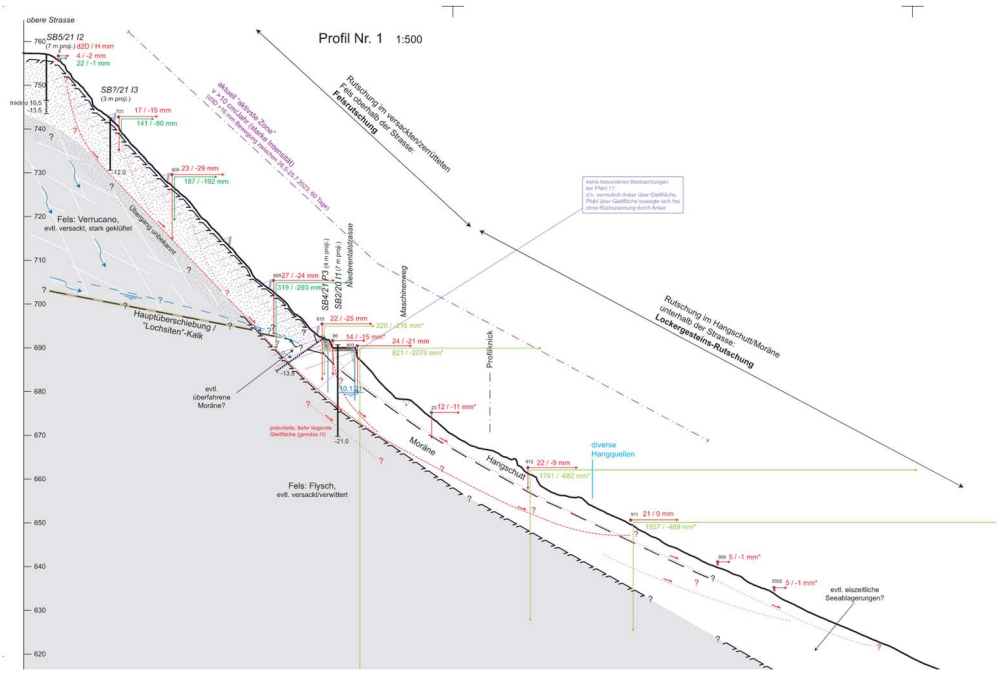


Bild 15 Auszug aus Schwanden: Rutschung Wagenrunse, Ereignisse 7.4. und 5.5.2023 Geologische Beurteilung, Bericht Nr. 12901, 31. Juli 2023, Dr. von Moos AG.

6.2 Sofortmassnahmen

Die ergriffenen Sofortmassnahmen (Abschnitt 5.1) beurteilen wir unter Berücksichtigung der Dringlichkeit und des damaligen Kenntnisstandes als zweckmässig und zielführend. Das Abholzen der Bäume oberhalb der Strasse erachten wir als sicherheitstechnisch erforderlich.

Aus unserer Sicht hat keine der Massnahmen die Ereignisse 2023 massgeblich beeinflusst oder verschlimmert, auch nicht der wegen der Abholzung fehlende oberflächliche Wasserentzug (Saugspannung).

6.3 Massnahmenkonzept

6.3.1 Massnahmenkonzept Naturgefahren

Das Konzept zur Begegnung der Naturgefahren (Abschnitt 5.2) erachten wir unter Berücksichtigung der damaligen Erkenntnisse und des damaligen Modells für den Rutschmechanismus aus geotechnischer Sicht als zweckmässig.

6.3.2 Massnahmenkonzept Erschliessung

Das Massnahmenkonzept (Abschnitt 5.2) beurteilen wir unter Berücksichtigung der damaligen Erkenntnisse, des enormen Drucks für eine rasche Erschliessung und des damaligen Modells für den Rutschmechanismus aus geotechnischer Sicht als zweckmässig, dies gilt auch für das Akzeptieren von talseitigen Bewegungen.

6.4 Baumassnahmen

6.4.1 Einbauten

Die Steinschlagnetze und Gleitschneenetze haben sich während der (kurzen) Nutzungsdauer bewährt. Das Ereignis 2023 startete viel weiter unten im Hang, sodass wir keinen Zusammenhang mit den Baumassnahmen sehen. Den tiefliegenden Verschiebungen oberhalb der Strasse (als Folge der grossen Verschiebungen unterhalb der Strasse) konnte die Verankerung der Netze nichts entgegensetzen. Die Anker sind kurz. Mit den kurzen Ankern wurden auch die Hangwasserverhältnisse nicht tangiert. Wir beurteilen die Wirkung der Netze als neutral für das Ereignis 2023.

Der Strassenverbau (Ankerwände) hat sich bewährt im Sinn, dass er sich als robust gegenüber talseitigen Verschiebungen zeigte. Die Fotos (Bilder 11-12) zeigen, dass die Ankerwände (Verbauten) unten und oben den Strassenkörper auch bei wesentlichen Verschiebungen des untenliegenden Rutschkörpers noch gestützt haben. Das bedeutet, die Sicherung des Strassenkörpers hat funktioniert, bzw. konnte genügend Deformationen «ertragen». Die Strasse konnte bis zu den Ereignissen 2023 genutzt werden.

Auf die unerwartet grossen aufgetretenen mittel- bis tiefgründigen Verschiebungen talseitig der Ereignisse und Rutschungen im Jahr 2023 weiter unten im Hang waren die Massnahmen nicht ausgelegt und konnten den Folgen dieser Prozesse nichts entgegensetzen.

Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Ankerwände und Bauarbeiten einen ungünstigen Einfluss auf die Ereignisse 2023 hatten:

- Die Verschiebungen starteten weiter unten im Hang
- Die neuen Bauteile reichen im zentralen Bereich nicht bis auf die Gleitfläche.
- Es hat keine massgebliche Beeinflussung der Hangwasserverhältnisse gegeben.

6.4.2 Weitere Massnahmen

Entwässerung[1]: Die Massnahmen zur Entwässerung haben Wirkung gezeigt. Es konnten gemäss Schätzung der Marty AG rund 100'000 m^3/Jahr Wasser gefasst und abgeleitet werden, Die Verschiebungsmessungen nach dem Bau haben die Wirksamkeit für oberflächliche bis knapp mittelgründige Gleitkörper gezeigt, auch wenn Sie nicht vollständig gestoppt wurden.

Auf die unerwartet aufgetretenen mittel- bis tiefgründigen murgangähnlichen Ereignisse und Rutschungen im Jahr 2023 weiter unten im Hang waren die Entwässerungsmassnahmen nicht ausgelegt. Diesen Bewegungen konnten die Massnahmen nichts entgegensetzen. Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Entwässerungsmassnahmen die Ereignisse 2023 ungünstig beeinflusst haben.

Der Abtrag des Ablagerungsmaterials und die unveränderte Lage der sanierten Strasse führten dazu, dass der Hang unterhalb der Strasse nicht mehrbelastet wurde. Dies war sicher zweckmässig und nötig, damit sich keine oberflächlichen Bruchkörper aktivieren. Für die tiefgründigen Rutschkörper ist die Wirkung geringer, aber auch positiv. Die Massnahmen haben einen neutralen bis leicht positiven Effekt auf die Ereignisse 2023.

[1] Vertieft analysiert haben wir die Frage, ob mit systematischen Drainagebohrungen entlang der Strasse zur Entwässerung des Wasserzufluss auf dem Flysch die Ereignisse 2023 positiv hätten beeinflusst werden können. Bohrungen wurden im ausgeführten Projekt geplant für Bereiche, wo viel Wasser zufliesst, aber nur zwei Stück ausgeführt (Abschnitt 2.5.1)
Wir sind zum Schluss gekommen, dass solche systematischen Bohrungen die Ereignisse nicht hätten wesentlich beeinflussen können:

- OK Flysch war etwas höher prognostiziert als schliesslich angetroffen, so wären die Bohrungen nicht ohne Weiteres richtig platziert gewesen.
- Die Überwachungsmessungen liessen vermuten, dass dies nicht erforderlich ist.
- Die Bohrungen wären sehr bald abgeschert und hätten nur noch eine geringe Wirkung gehabt.
- Es ist davon auszugehen, dass es massgebliche Fliesswege auch im Flysch gibt, die ohnehin nicht erwartet und nicht bekannt waren und auch heute noch nicht bekannt sind.

Wir sind zum Schluss gekommen, dass es nicht gelungen wäre, die Situation mit erweiterten Drainagemassnahmen bezüglich der Ereignisse 2023 massgeblich zu verbessern.

Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Holzarbeiten oder die noch nicht ausgeführte Aufforstung einen ungünstigen Einfluss auf die Ereignisse 2023 hatten:

- Die Verschiebungen starteten weiter unten im Hang und in grosser Tiefe.
- Die Rutschtiefe war auch oberhalb der Strasse gross
- Der Einfluss der Wurzeln und Bäume ist oberflächlich.

Wir beurteilen die Wirkung neutral.

6.5 Bauarbeiten

Es gibt keine Hinweise darauf, dass die Bauarbeiten in wesentlichen Punkten ungenügend waren oder vom geplanten Projekt abwichen oder die Ereignisse 2023 in irgendeiner Art ungünstig beeinflussten.

6.6 Statik

Die Statik wurde nachträglich erstellt. Deshalb beurteilen wir diese als nicht massgebend für die Fragen, die zu beantworten sind.

6.7 Überwachung und Unterhalt

Es gibt keine Hinweise auf unsorgfältige Ausführung der Überwachung oder des Unterhalts, oder dass diese die Ereignisse 2023 ungünstig beeinflussten.

6.8 Weiteres

Die Massnahmen als gesamtes, die Naturgefahrenszenarien, die Notfall- und Evakuationskonzepte im Besonderen waren gut und zutreffend, sodass genügend Reaktionszeit blieb, rechtzeitig zu evakuieren und Todesfälle zu vermeiden.

6.9 Weitergehende Massnahmen

Es stellt sich die Frage, ob mit weitergehenden Massnahmen die Ereignisse 2023 hätten verhindert oder wesentlich verbessert werden können. Dabei stehen die Massnahmen zur Begegnung der Naturgefahren im Focus, und zwar eine Tiefendrainage oder eine Hangsicherung.

a) Tiefendrainage

Systematische Drainage mit Schrägbohrungen und Brunnen oder Stollen

Mit solchen Massnahmen können sowohl der Wasserdruck als auch die Wassermengen durch vorgängige Entnahme reduziert werden. Ohne weitere Untersuchungen hätte man im vorliegenden Fall die Massnahmen nicht planen können. Sie wären auch, wenn man gewusst hätte, was man heute weiss, höchstens zufälligerweise erfolgreich gewesen. Denn es ist unklar, wo überall Wasser anfällt. Der / die massiven Wasserzutritte 2023 sind bis heute nicht exakt bekannt. Für die Umsetzung der Massnahmen gilt zudem dasselbe wie für die Hangsicherung folgend. Die zur Verfügung stehenden Ressourcen (Zeit, Finanzen) hätten nicht gereicht.

b) Systematische Sicherung des Hanges unterhalb der Strasse

Für die Sicherung des Hanges unterhalb der Strasse wären zur Klärung der Rutschprozesse, Rutschmechanismen und Auslöser umfangreiche weitergehende Untersuchungen erforderlich gewesen. Erst danach hätte projektiert werden können. Angesichts des aktvierten grossen Rutschkörpers, welcher weit in den Hang unter der Niederentalstrasse hinunter reicht, wären sehr umfangreiche Massnahmen erforderlich.

Für Bewilligungen und Finanzierung sowie Ausführung wären einige Jahre notwendig gewesen – die Arbeiten wären also zu spät gekommen für das Ereignis 2023 Zudem wären erhebliche Kosten damit verbunden gewesen. Es sei dahingestellt, ob solche Investitionen überhaupt gesprochen worden wären.

6.10 Fazit

Die Ereignisse von 2023 beurteilen wir als ein unerwartetes, nichtvorhersebares Naturereignis, dem im Rahmen der vorhandenen Möglichkeiten nichts entgegengesetzt werden konnte ausser Evakuationsmassnahmen.

Es ist festzustellen, dass bezüglich Rutschprozess auch heute noch einige Fragen offen sind, und Messungen zeigen, dass der Prozess nicht abgeschlossen ist.

Zusammenhänge mit den baulichen Massnahmen 2021, die zu einem intensiveren Ereignis geführt oder dies sogar ausgelöst hätten, oder dies ausgelöst hätten, konnten wir keine finden.

7. Fragenbeantwortung

Übergeordnete Fragenstellung

F	Gibt es im Zusammenhang mit der Strassensanierung 2020/2021 irgendwelche Verantwortlichkeiten, welche klar verletzt wurden?
	Aus unserer Sicht gibt es keine Verantwortlichkeiten, welche klar verletzt wurden und dazu geführt hätten, dass das Ereignis 2023 durch die Strassensanierung 2020/2021 verstärkt oder gar ausgelöst worden wäre.

Geologische Fragen

1	Was war vor 2020 bezüglich Naturereignissen bekannt
	Die Wagenrunse war als feuchte Runse mit einigen Quellfassungen bekannt. Der angrenzende Wald mit seinen geraden Bäumen und die Niederentalstrasse seit ihrer Erstellung um ca. 1932 zeigten bis 2020 keine Anzeichen auf Rutschungen. Naturereignisse, welche zu Schäden an der querenden Niederentalstrasse und an Gebäuden im Siedlungsgebiet am Hangfuss führten, waren keine bekannt. Die Gefahrenkarte von 2016 wies eine Gefährdung durch Hangmuren und Überschwemmung aus. Für sehr seltene, 300 jährliche Ereignisse war am Siedlungsrand eine Gefährdung mittlerer Intensität (max. 1 m Ablagerung aus Hangmuren) ausgewiesen.
2	Was können die Ursachen der Ereignisse 2020 und 2023 gewesen sein?
	Die geologische Grunddisposition mit Verlauf der Glarner Hauptüberschiebung (Lochsitenkalk), die hintere Abrissbegrenzung der grossen Sackungen von Hasle und Quellaustritte treffen in der Wagenruse zusammen. Ein hoher Hang- und Kluftwasserdruck als variable Disposition und eine Veränderung der Wasserfliesswege im Zusammenhang mit den Erdbeben 2020 als Auslöser mit gewisser Verzögerung führten zum Ereignis 2020. Die Wasserfliesswege blieben verändert und die Massenumlagerung durch das Ereignis 2020 bewirkten, dass noch kein neuer stabiler Zustand im Hang erreicht wurde. Im Frühjahr 2023, infolge hohem Hang- und Kluftwasserdruck (Schneeschmelze), kam es zu weiteren, mehrfach gestaffelten Folgebewegungen. Der Hang ist auch nach 2023 gemäss Messungen noch nicht vollständig im Gleichgewicht.
3	Wie war der Kenntnisstand bezüglich Geologie vor 2020, vor 2023 und heute?
	Der Kenntnisstand bezüglich Geologie war 2020 schon nahe beim heutigen Kenntnisstand. Grunddisposition, variable Disposition und Auslöser wurden ähnlich wie heute beurteilt. Mit den eingeleiteten Untersuchungen wurden gewisse, 2020 noch offene Fragen besser abgeklärt. Auch mit heutigen Kenntnissen bleiben viele Unsicherheiten, weil die Geologie sehr komplex ist. Das massgebende hydrogeologische Einzugsgebiet, welches zu den hohen Hang- und Kluftwasserdrücken führt, reicht eventuell bis zum Kärpf und hat durch die Glarner Hauptüberschiebung Auswirkungen bis ins Ausbruchgebiet Wagenrus. Die

	Geometrie und der Einfluss der Sackungsmassen von Haslen ist bisher auch nur ansatzweise verstanden (Versuch in Anhang 6 skizziert).
4	Welche geologischen Abklärungen wurden getätigt und welche Aussagen lieferten sie den Planern?
	Die geologischen Abklärungen, wie Sondierbohrungen, Vermessungen, Kartenstudium, Erdbebenabklärungen entsprachen dem heute gängigen Vorgehen. Der politische Zeitdruck für die Wiederinstandstellung der Erschliessungsstrasse führten aber dazu, dass die Entscheidungen für die Projektierung abgestützt auf noch nicht vollständigen Daten oder auf geologischen Hypothesen erfolgen mussten. Dieses Problem stellt sich aber auch heute noch, wenn man sich diesen Fragen stellen müsste. Daher wird eine alternative Erschliessung geplant.
5	Welche Notfallmassnahmen wurden getroffen? Waren diese sinnvoll und wirksam?
	Die getroffenen Notfallmassnahmen waren sinnvoll. Die Gefährdung wurde rasch überprüft und den neuen Erkenntnissen immer angepasst, Sofortmassnahmen versuchten die Entwässerung zu verbessern und mit der eingerichteten Überwachung und dem Notfallkonzept wurde auf die erhöhte Gefährdung reagiert. Das Konzept funktionierte und es kam glücklicherweise zu keinen Personenschäden.
6	Was waren die Auswirkungen der Strassensanierung auf das Grossereignis von 2023?
	Aus geologischer Sicht hatte die Strassensanierung wenig bis keinen Einfluss auf das Grossereignis 2023, weil die Massnahmen nicht bis auf die Bewegungsfläche des Ereignisses 2023 reichten. Vielleicht hatte sie eine leicht verzögernde Wirkung, aber Grösse und Ausmass der Hangbewegung hat sie kaum signifikant verändert. Aus geologischer Sicht ist «das Rutschereignis Wagenrus», welches 2020 startete, noch nicht abgeschlossen. Es sind noch immer Bewegungen vorhanden, welche Veränderungen bei den Wasserfliesswegen verursachen können. Diese Veränderungen sowie die Massenveränderungen im Hang seit 2020 können auch in Zukunft zu weiteren Nachrutschungen und Felsabbrüchen führen. Das Rutschereignis kann sowohl mit Blick auf die Vergangenheit, mit Blick auf die ansatzweise verstandene komplexe geologische Disposition, aber auch hinsichtlich Auslösemechanismus und Ereignisablauf mit Tiefenerosion bis an den Hangfuss (2023) als grosses Ausnahmeereignis bezeichnet werden.

Geotechnische Fragen

1	Wurden die Arbeiten der Strassensanierung nach den anerkannten Baustandards, Bauvorschriften und den spezifischen Anforderungen der Situation geplant und ausgeführt?
	Ja, soweit dies für die übergeordnete Fragestellung von massgeblicher Relevanz ist und unter Berücksichtigung der Umstände und Dringlichkeit wurden - die Massnahmen und zur Begegnung der Naturgefahren im Hang - die Sicherungsarbeiten an der Erschliessungsstrasse unter Berücksichtigung der begleitenden - Überwachungsmassnahmen und Unterhaltsmassnahmen, - der festgelegten akzeptierten Risiken, - den organisatorischen Massnahmen (Notfallplanung), - und den Hinweisen auf Unsicherheiten nach den anerkannten Baustandards, Bauvorschriften und spezifischen Anforderungen der Situation geplant und ausgeführt.
2.	Wurden die im Entscheidungszeitpunkt vorhandenen Erkenntnisse in der Beurteilung des Ereignisses und der Planung der Massnahmen sowie der Bewältigung der Folgeereignisse gebührend berücksichtigt?
	Ja, die vorhandenen Erkenntnisse wurden genügend berücksichtigt. - Auf die damaligen Modellvorstellungen mit sehr oberflächlichen aktiven Rutschhorizonten sowie Steinschlag- und Schneegleit - Prozessen oberhalb der Strasse wurde zweckmässig reagiert. - Auf die mittelgründigen Verschiebungen (4-6 m tief) unterhalb der Strasse wurde mit den Entwässerungen knapp aber genügend reagiert. Es wurde angenommen, dass sich die Hangwasserverhältnisse/Fliesswege vor dem Rutsch verändert haben (z.B. als Folge einer Erdbebenserie), die Veränderungen aber mutmasslich abgeschlossen sind. Und die Überwachungsmessungen nach dem Bau wiesen auf eine erfolgreiche Massnahme hin. - Die im Modell langsam ablaufenden tiefen Prozesse wurden akzeptiert. - Es wurde auf Unsicherheiten hingewiesen. - Die verbleibenden Naturgefahren wurden richtig eingeschätzt und organisatorische Massnahmen ergriffen.
3	Wären diese Auswirkungen vor Projektbeginn mit dem damaligen Wissensstand klar erkenn- und belegbar gewesen oder wurden sie als potentielles Gefährdungsbild erkannt?
	Nein, die Auswirkungen (Ereignisse 2023) waren gemäss unserer Beurteilung nicht als drohendes Gefährdungsbild erkennbar gewesen. Die zu Grunde gelegten Modelle deckten nicht das später eingetretene Verschiebungsverhalten ab und es wurde nicht mit der zusätzlichen Erosion in der Runse gerechnet.

	Es ist allerdings festzuhalten, dass ein grosses Ereignis mit Auswirkungen bis ins Siedlungsgebiet als verbleibende Gefahr erkannt wurde. Dieser wurde mit organisatorischen Massnahmen begegnet.
4	Wurden diese Erkenntnisse im Laufe der Ereignisse vertieft und die Massnahmen an diese neuen Erkenntnisse angepasst?
	Ja. Während der Arbeiten wurden laufend neue Erkenntnisse gesammelt und die Massnahmen angepasst (baulich z.B. Wasserfassungen, Netzflächen, Bauverfahren etc.). Die Entwässerungsmassnahmen wurden angepasst (z.B. Entwässerung hinter Holzkasten, Überwachung), Verzicht auf systematische Bohrungen (vgl. Anhang Befragung Gächter, Antworten zu Fragen 18 und 19). Bezüglich der tiefen Gleitflächen (10 m und mehr) wurden keine zusätzlichen Massnahmen ergriffen, die Verschiebungsgeschwindigkeiten nach dem Bau waren gering.
5	Wären diese Erkenntnisse ohne zusätzliche Risiken fachlich so zu verbessern gewesen, dass die Ereignisse nicht eingetreten wären?
	Die Erkenntnisse wären nicht ohne Weiteres zu verbessern gewesen, weil von einem anderen Modell ausgegangen wurde bzw. die späteren Ereignisse nicht prognostizierbar waren. Zudem ist bis heute der Auslöser der Hangmuren unklar. Es wird angenommen, dass eine Akkumulation der Staunässe der Auslöser war, dies ist bis heute aber schwer fassbar. - Eine Ersatzerschliessung mit Entwässerungsmassnahmen im Rutschbereich hätte kaum Einfluss gehabt auf das Ereignis 2023. Ohne Entwässerungsmassnahmen wäre das Ereignis vielleicht etwas früher eingetroffen – dies ist allerding rein spekulativ. - Ein Ausbau des ausgeführten Projektes durch zusätzliche Entwässerungsbohrungen hätte kaum eine Verbesserung gebracht. - Für weitere Massnahmen wie systematische Hangstabilisierungen durch Entwässerung oder Hangsicherungen des Hanges unterhalb der Strasse wären umfangreiche weitergehende Untersuchungen erforderlich gewesen. Für Projektierung, Bewilligungen und Finanzierung sowie Ausführung wären einige Jahre notwendig gewesen – die Arbeiten wären zu spät gekommen für das Ereignis 2023.
6	Hatte die Strassensanierung einen positiven, keinen oder einen negativen Effekt auf die Rutsch- und Hangmurenprozesse?
	Wir haben keine Hinweise darauf gefunden, dass ein negativer Einfluss vorhanden sein könnte. Wir sehen einen neutralen bis geringen, tendenziell positiven Einfluss. Die Entwässerungen haben dazu geführt, dass sich die Lockergesteinsrutschung langsamer bewegte und haben so einen positiven Einfluss auf obenliegende Bruchkörper. Zudem haben sie dazu geführt, dass weniger Wasser im Murgang war – allerdings wegen der Leckagen und Defekte am Schluss nur noch sehr bedingt.

7	Gibt es Hinweise, dass die Strassensanierung anders ausgeführt wurde als projektiert und dieser Umstand den Effekt auf die Rutsch- und Hangmurenprozesse positiv oder negativ verändert hat?
	Nein, wir haben keine Hinweise darauf gefunden.
8	Hatten die Überwachung und der Unterhalt der Bauwerke von 2021 einen positiven, keinen oder einen negativen Effekt auf die Rutsch- und Hangmurenprozesse?
	Den Einfluss der Überwachung und des Unterhalts nach Bauvollendung bis Anfang 2023 (vor dem neuerlichen Ereignis) erachten wir als neutral. Sie ermöglichten wegen der geringen Verschiebungsgeschwindigkeiten nach Abschluss der Bauarbeiten in den verschiedenen Tiefen und der unauffälligen Entwässerung keine neuen Erkenntnisse bezüglich der Gefährdungs- und Risikosituation.
9	Wurden bekannte Risiken in der Projekt- und Ereignisphase ignoriert?
	Nein, es wurden keine Risiken ignoriert. Die Risiken wurden teilweise angesichts des Wissensstandes und der dazugehörigen Modellbildung anders eingeschätzt. Die damaligen Einschätzungen zu den Risiken und die verschiedenen Begründungen für die Einschätzungen erscheinen nachvollziehbar und nicht unplausibel oder auffällig

Zürich, 03.09.2024

Horw, 03.09.2024

Dr. Vollenweider AG
Geotechnik Grundbau Tunnelbau

A. Lutz, dipl. Bauing. ETH/SIA

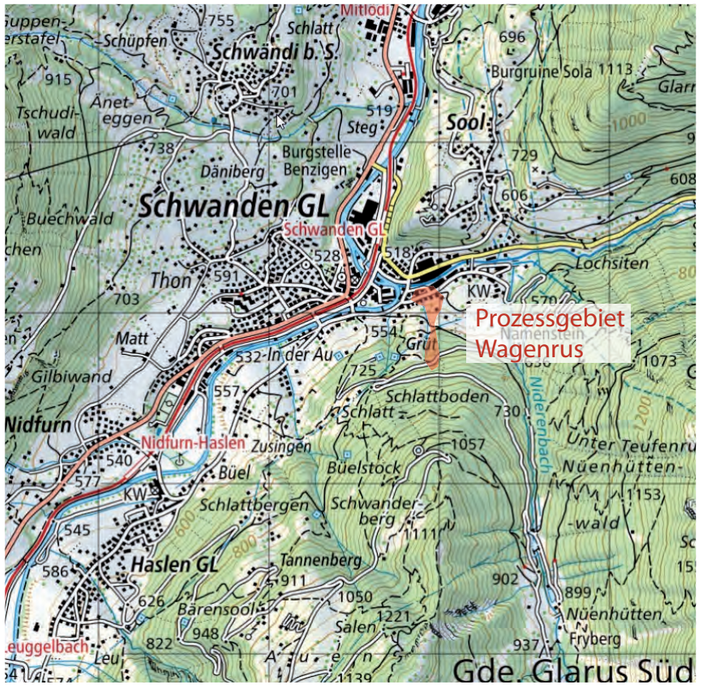
GEOTEST AG

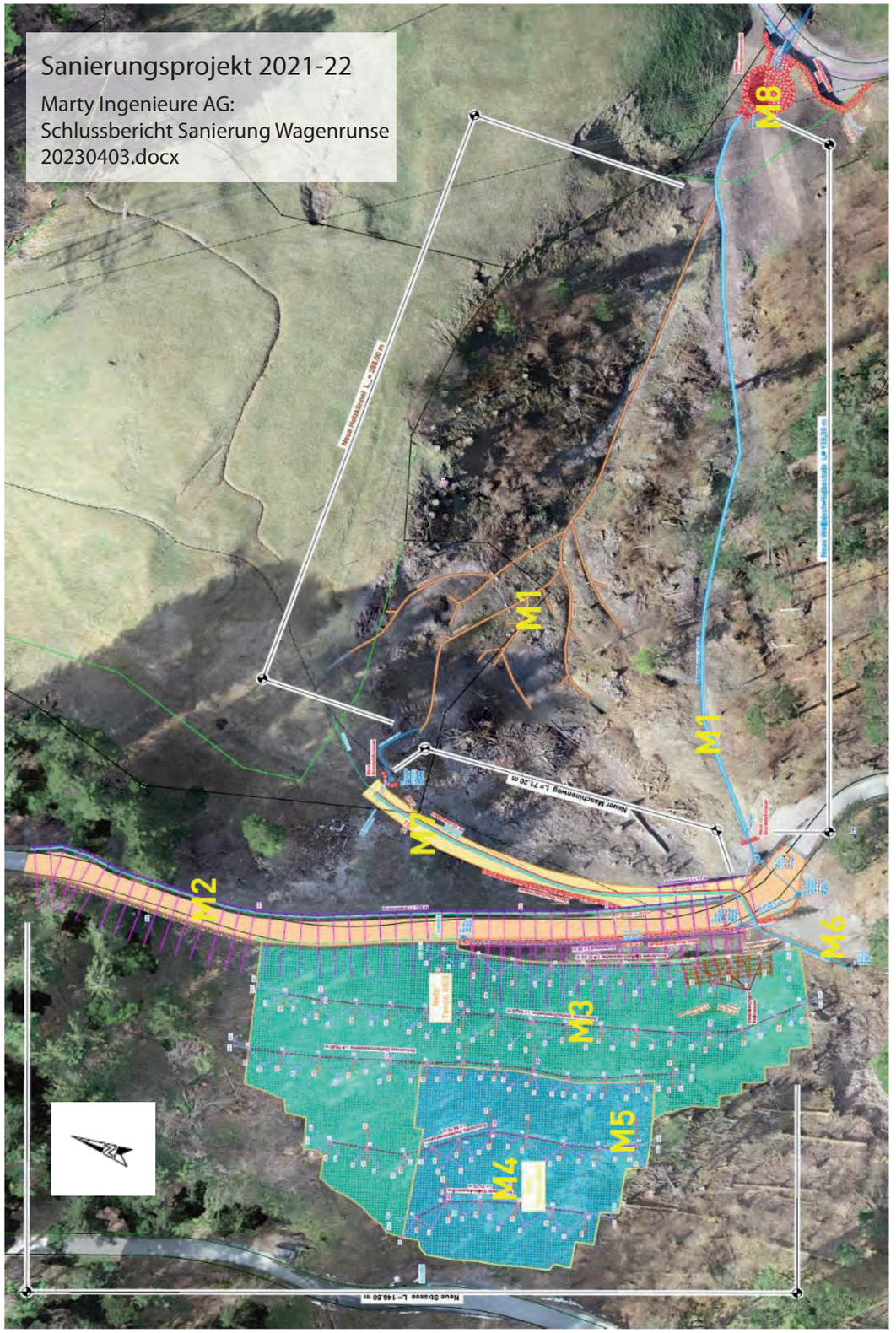
Markus Liniger, Dr. sc. nat. Geologe

Verteiler:
- glarnerSach, Marco Rimini — per Mail
- GEOTEST AG — 1 Exemplar
- Dr. Vollenweider AG — 1 Exemplar

ANHANG

Anhang 1	Übersicht Projekt Wagenrus
Anhang 2	Auswertung Karteninformation Swisstopo
Anhang 3	Auswertung alte geologische Karten
Anhang 4	Aktuelle geologische Karten, Geologischer Atlas 1:25'000 und Geocover
Anhang 5	Profil durch die Glarner Hauptüberschiebung, Lochsitenkalk
Anhang 6	Reliefkarte mit Geologie, Reliefkarte mit Interpretation
Anhang 7	Detailfoto Ausbruchnische nach dem Ereignis vom 29.8.2023
Anhang 8	Bohrkernaufnahme B2/23 Dr. von Moos AG, Ausschnitt Bereich Lochsitenkalk





GEOTEST
GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE

Auftrag: Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise Nr. 2324071.1

Koord.: 2'724'935 / 1'205'710

Übersicht Projekt Wagenrus

Rutschung 29.08.2023
(Foto Marty Ingenieure AG)



Rutschung 08.12.2020
(Foto Marty Ingenieure AG)



GEOTEST GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE

Auftrag: Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise Nr. 2324071.1

Koord.: 2'724'935 / 1'205'710

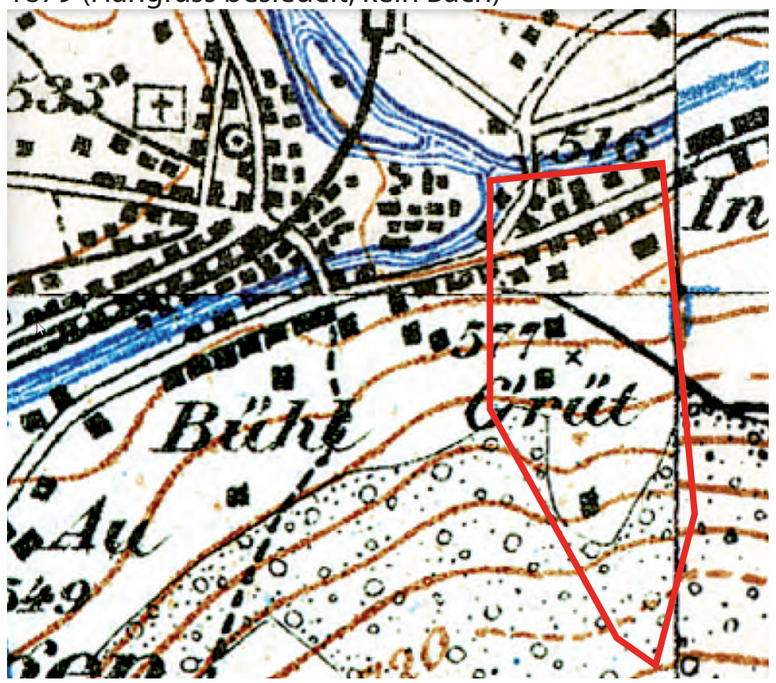
Auswertung Karteninformation Swisstopo

www.map.geo.admin.ch
(Zeitreise)

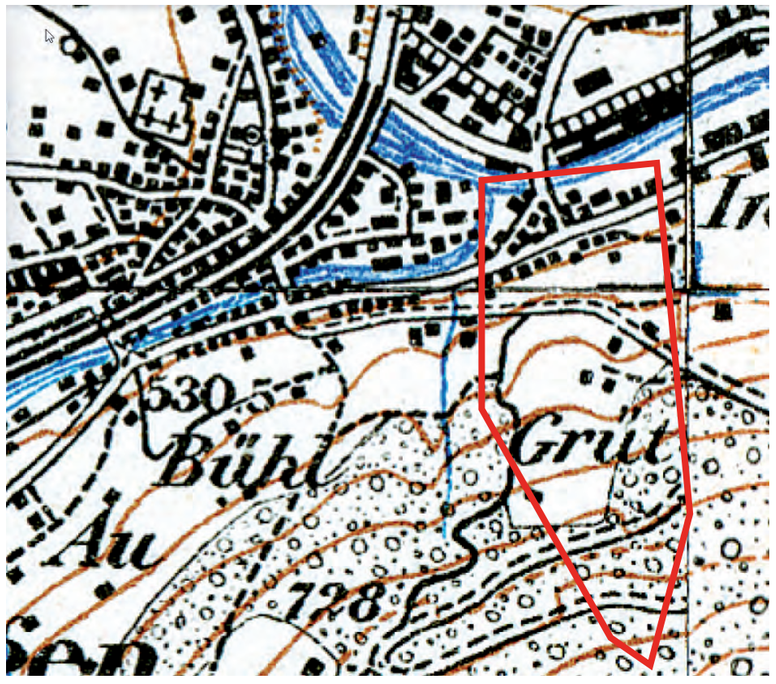
1859 (Erste Karte, bereits Häuser am Hangfuss)



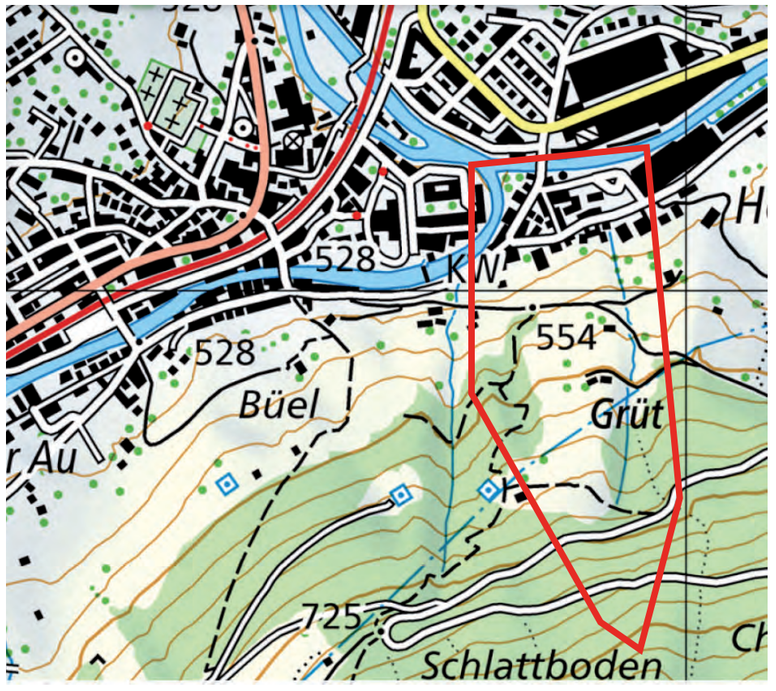
1879 (Hangfuss besiedelt, kein Bach)



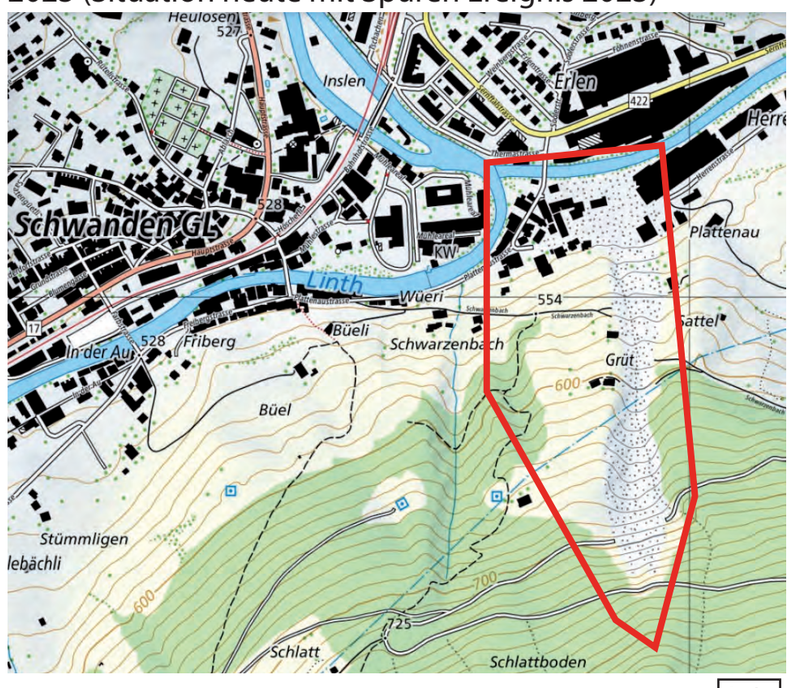
1932 (Niederentalstrasse, kein Bach, erst ab 1961 kartiert)



2021 (vor Grossereignis August 2023)



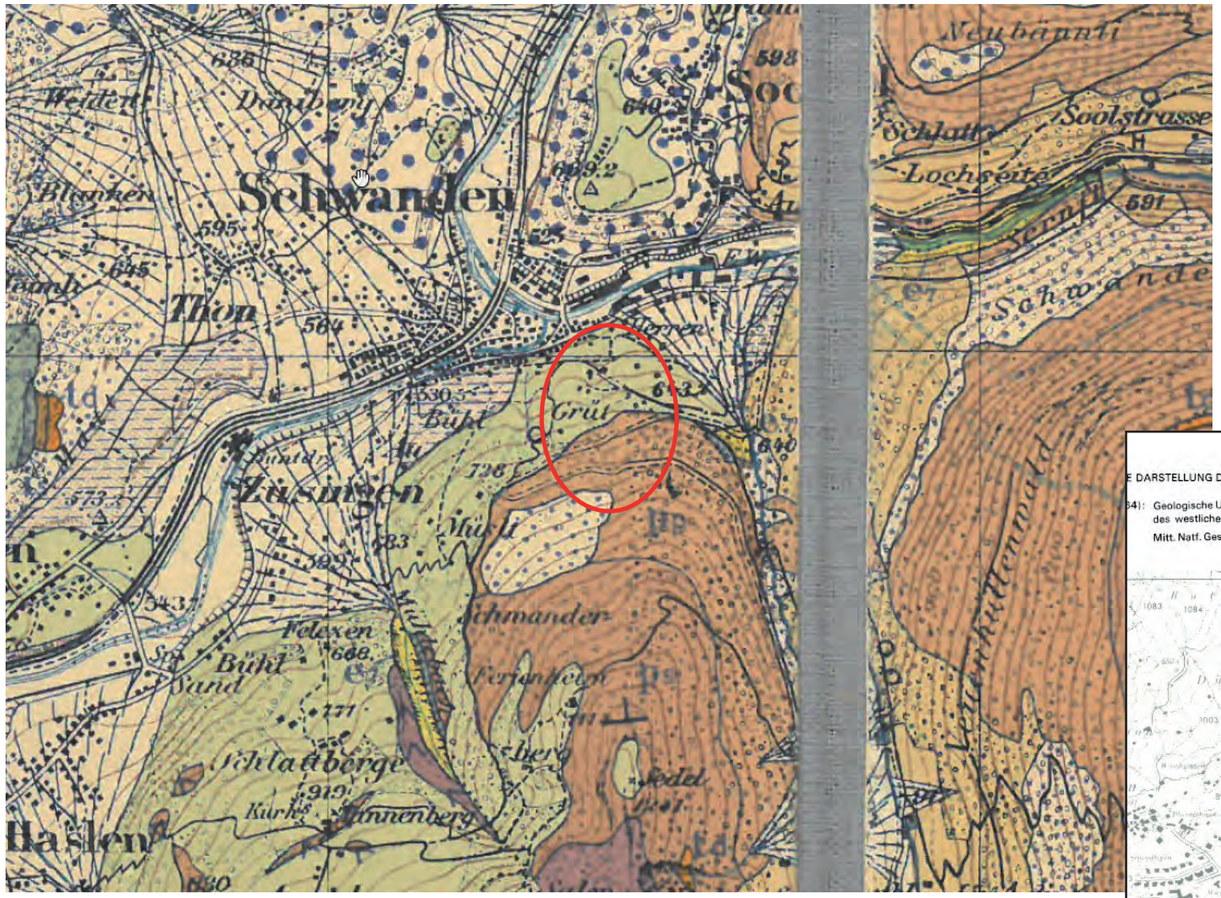
2023 (Situation heute mit Spuren Ereignis 2023)



GEOTEST	GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE
Auftrag: Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise	Nr. 2324071.1
Koord.: 2'724'935 / 1'205'710	

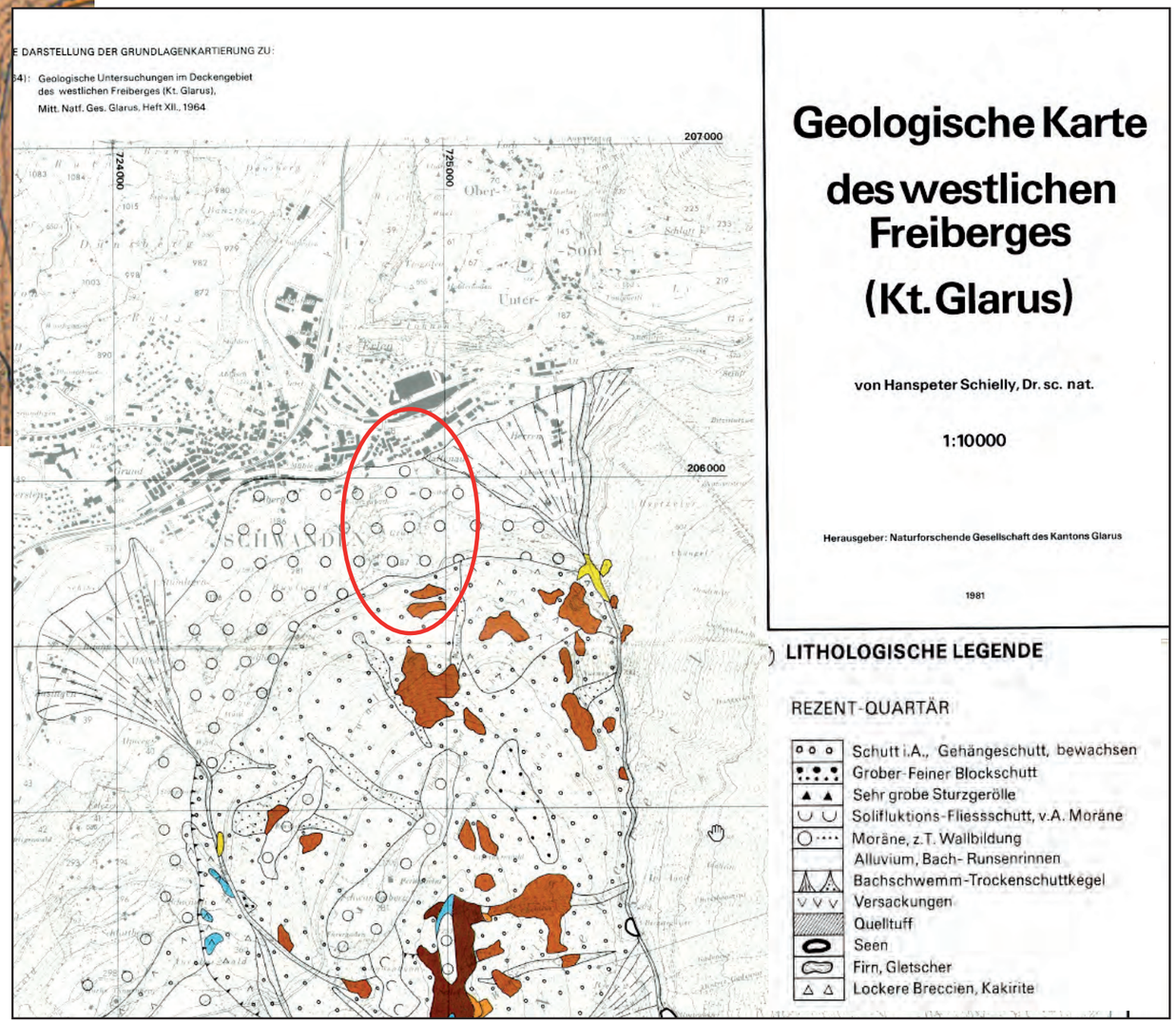
Auswertung alte geologische Karten

Ausschnitt: Geologische Karte des Kanton Glarus 1:50‘000
Oberholzer 1954



Keine Rutschungen kartiert (Moräne)
Kein Schuttfächer kartiert
Keine Sackung kartiert

Ausschnitt: Geologische Karte des westlichen Freiberges 1:10‘000
Schielly 1981 (mit Legendenausschnitt)



Keine Rutschungen kartiert (Moräne)
Kein Schuttfächer kartiert
Keine Sackung kartiert

www.map.geo.admin.ch
Geologie

Legende siehe:
https://data.geo.admin.ch/ch.swisstopo.geologie-geologischer_atlas/legenden/166.png

GEOTEST GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE

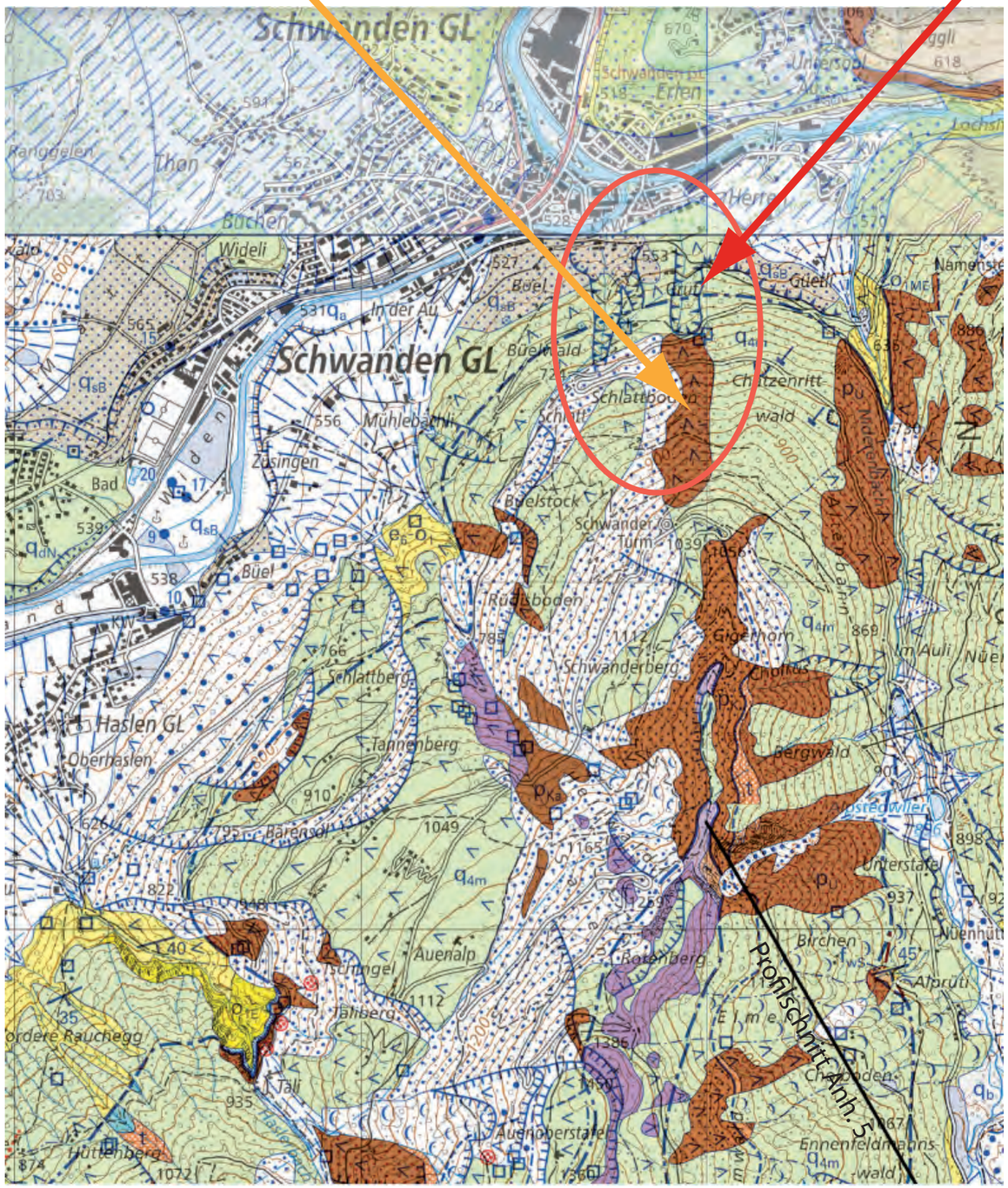
Auftrag: Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise Nr. 2324071.1

Koord.: 2'724'935 / 1'205'710

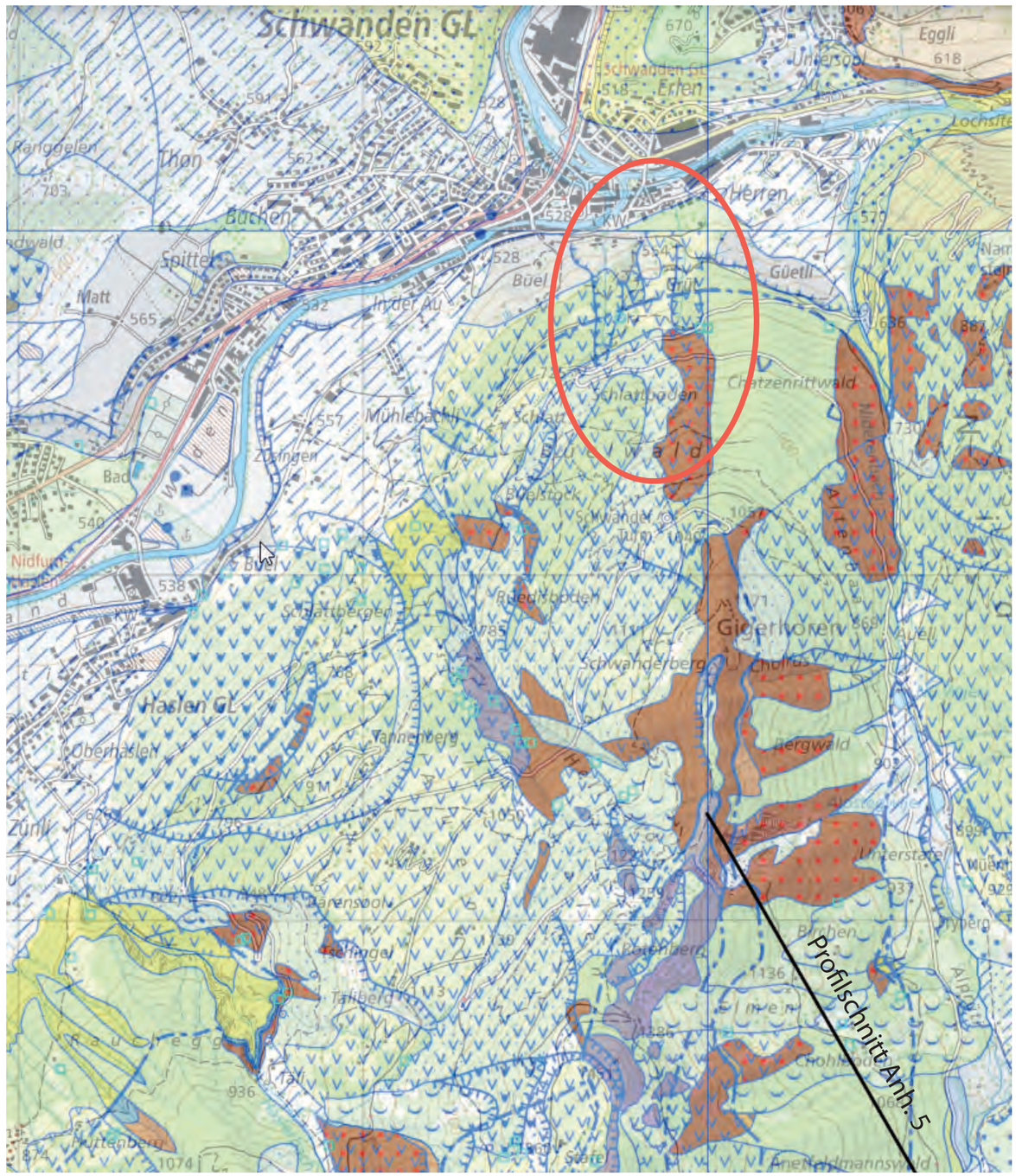
Aktuelle geologische Karten
Geologischer Atlas 1:25‘000 und Geocover

Versackter Verrucano-Fels oberhalb Geländenische

Vermuteter Verlauf Glarner Hauptüberschiebung



Ausschnitt: Geologischer Atlas 1:25‘000
Blatt Linthal (Swisstopo)

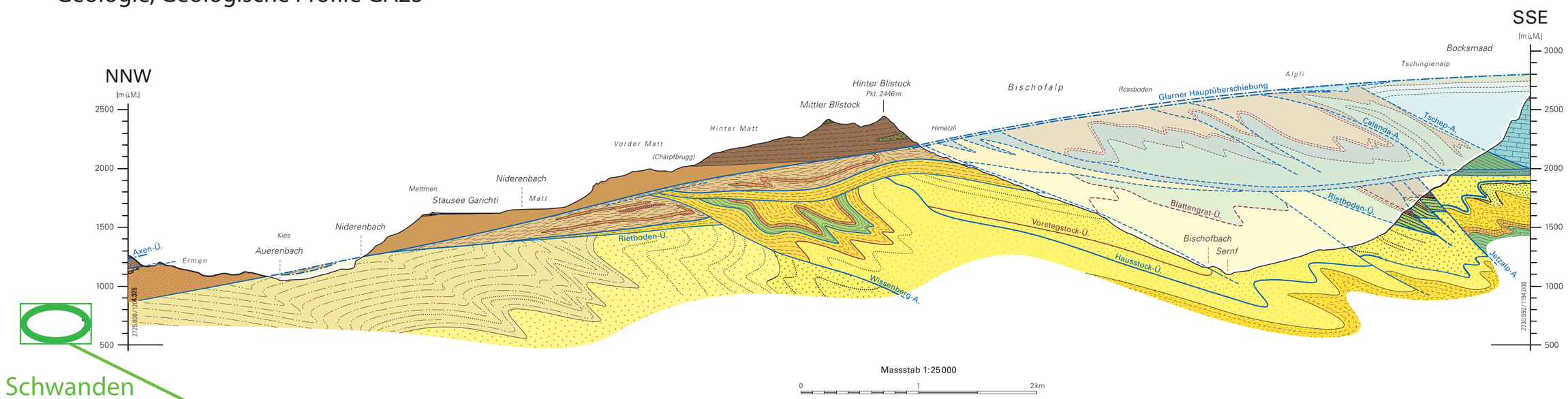


Ausschnitt Geocover
(Swisstopo)

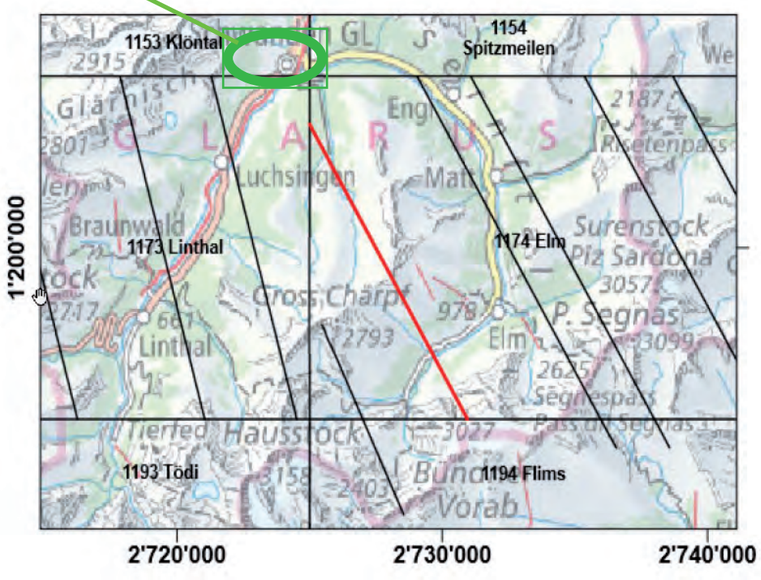
GEOTEST	GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE
Auftrag: Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise	Nr. 2324071.1
Koord.: 2'724'935 / 1'205'710	

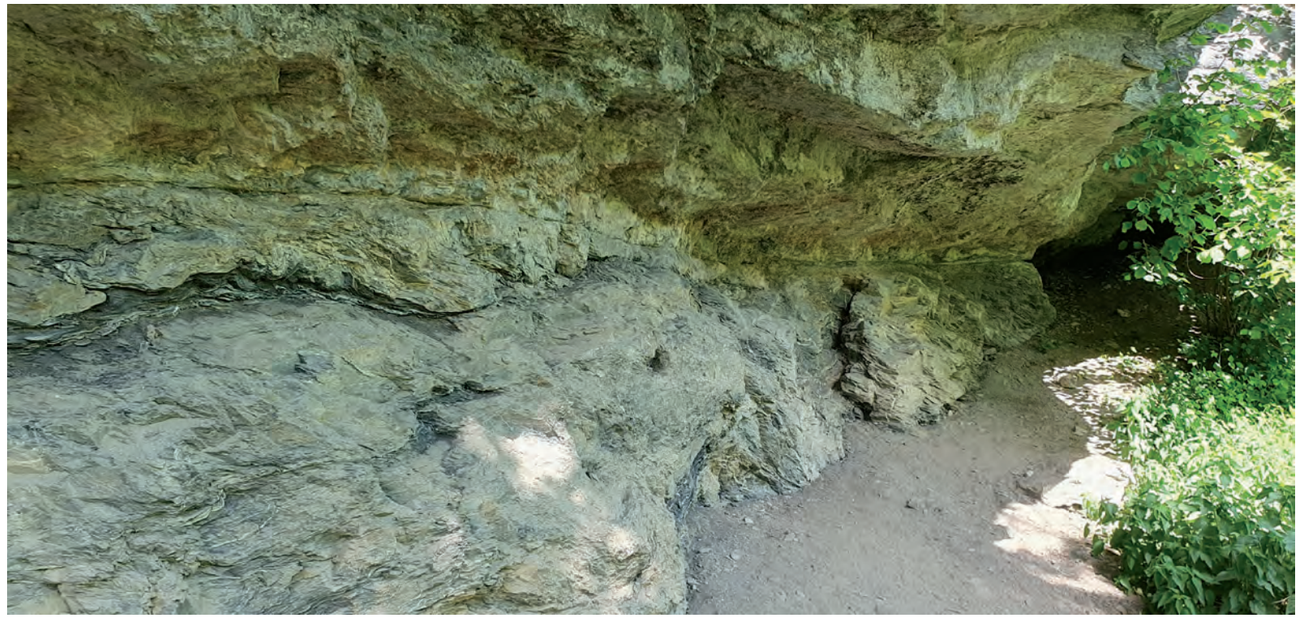
Profil durch die Glarer Hauptübeschiebung
Lochsitenkalk

www.map.geo.admin.ch
Geologie, Geologische Profile GA25



Schwanden





Lochsitenkalk (Tyuslokalität Lochsiten), Kalkmylonit
Überschiebungshorizont zwischen Verruccano (oben) und verfaltetem Flysch (unten)

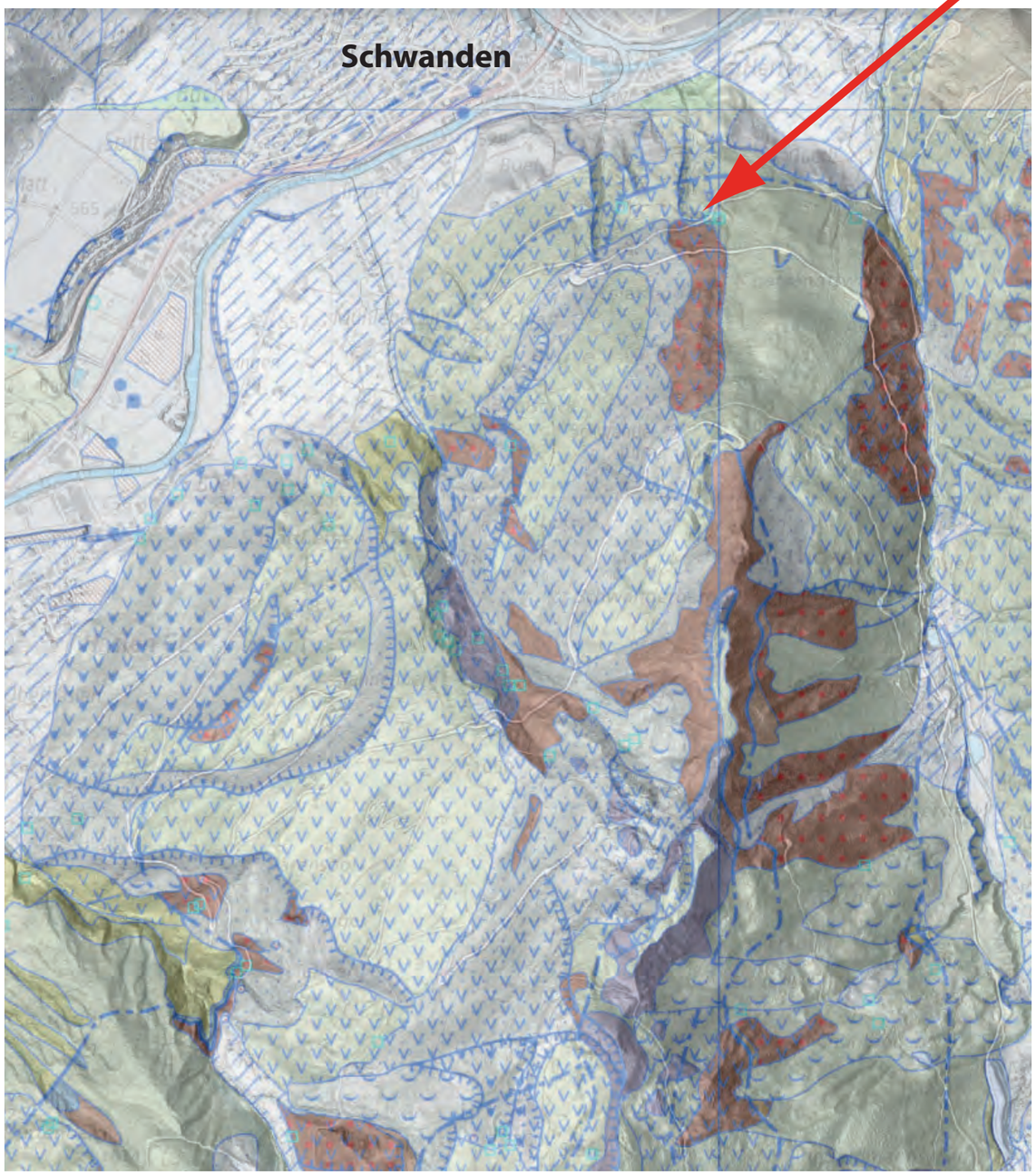
GEOTEST GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE

Auftrag: Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise Nr. 2324071.1

Koord.: 2'724'935 / 1'205'710

Reliefkarte mit Geologie,
Reliefkarte mit Interpretation

www.map.geo.admin.ch



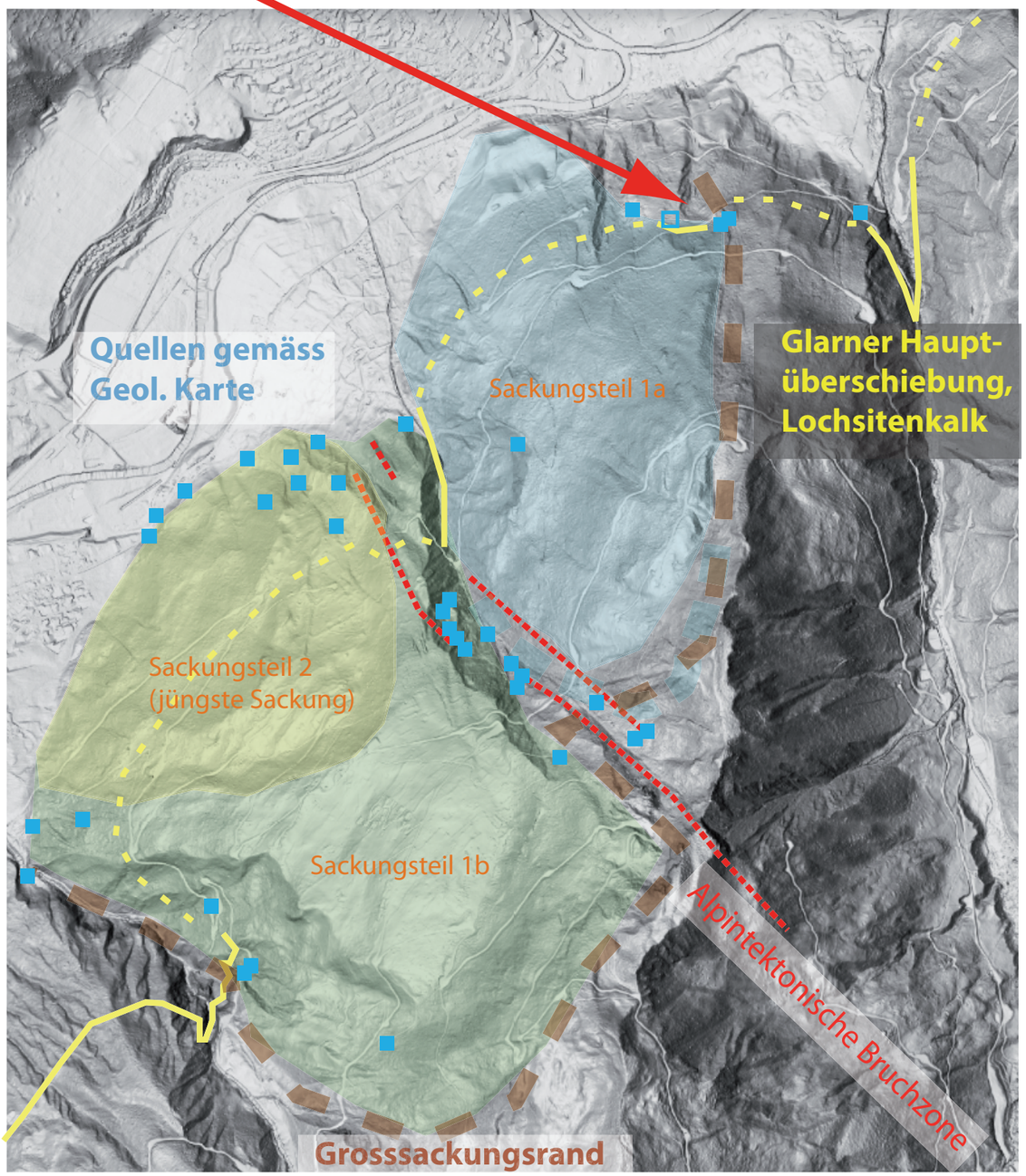


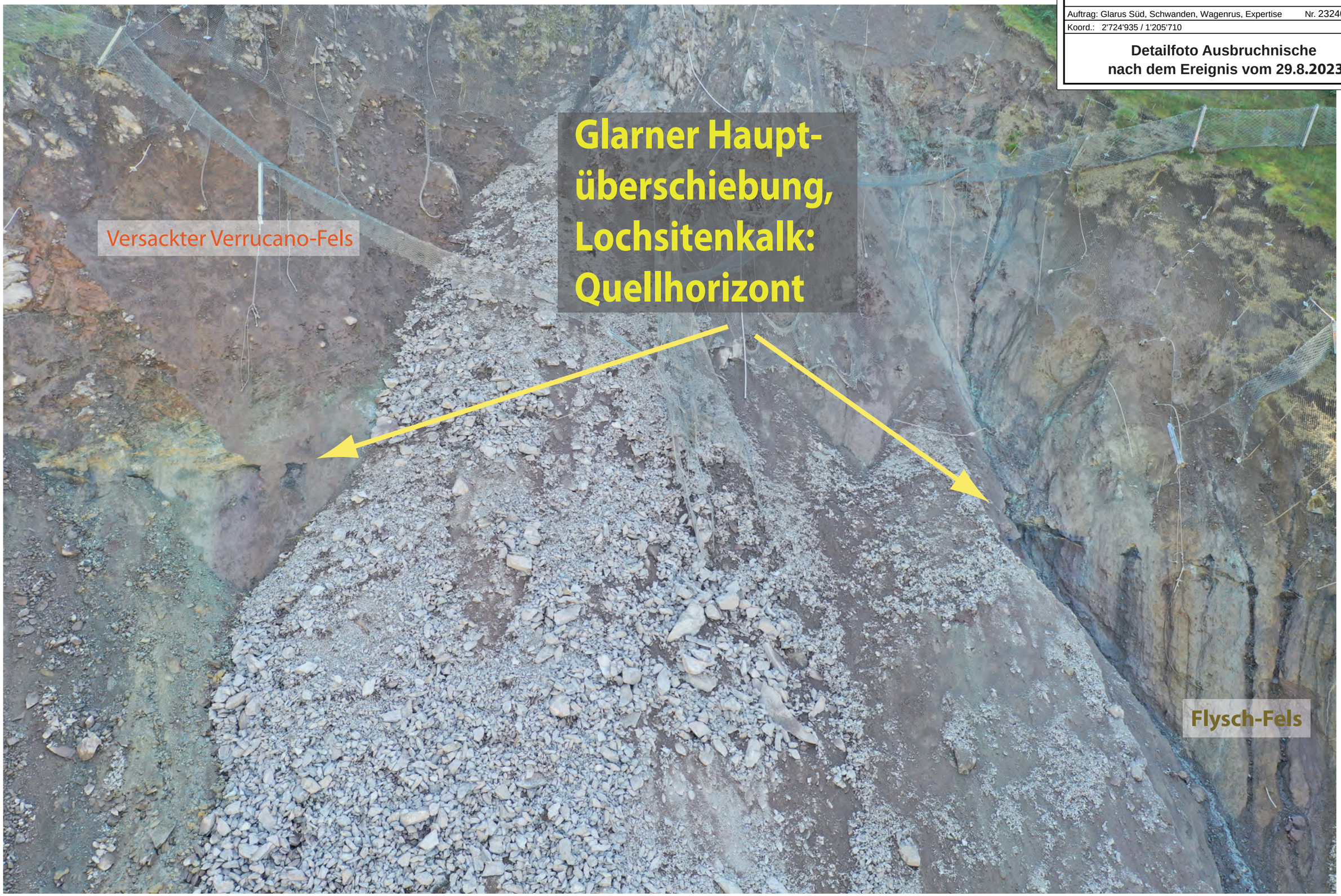
Foto Lorenz Grämiger, Dr. von Moos AG, 07.09.2023

GEOTEST GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE

Auftrag: Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise Nr. 2324071.1

Koord.: 2'724'935 / 1'205'710

Detailfoto Ausbruchnische nach dem Ereignis vom 29.8.2023



2324071.1_ANH7_Glarus Süd, Wagenrus.ai/20240730lg

Anh. 7

Schwanden: Rutschung Wagenrunse, Ereignis 29.8.2023

Bericht: 12901-xx
Beilage: 3.2

Auftraggeber:	Bohrunternehmung:	Geologische Begleitung:
Gemeinde Glarus Süd, 8762 Schwanden	**fretus ag, Bad Zurzach**	Dr. von Moos AG Geologie + Geotechnik

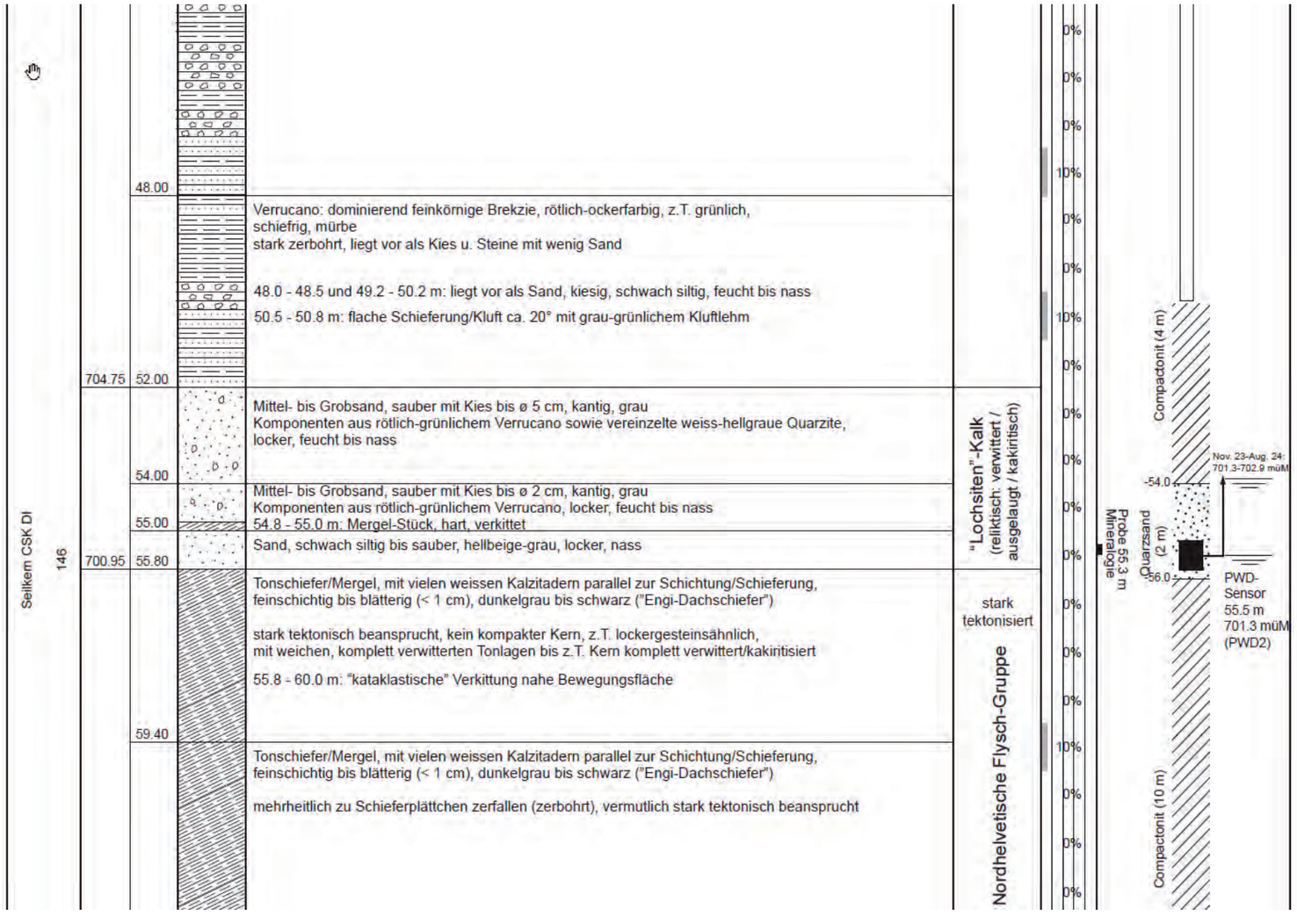
SONDIERBOHRUNG NR. B2/23

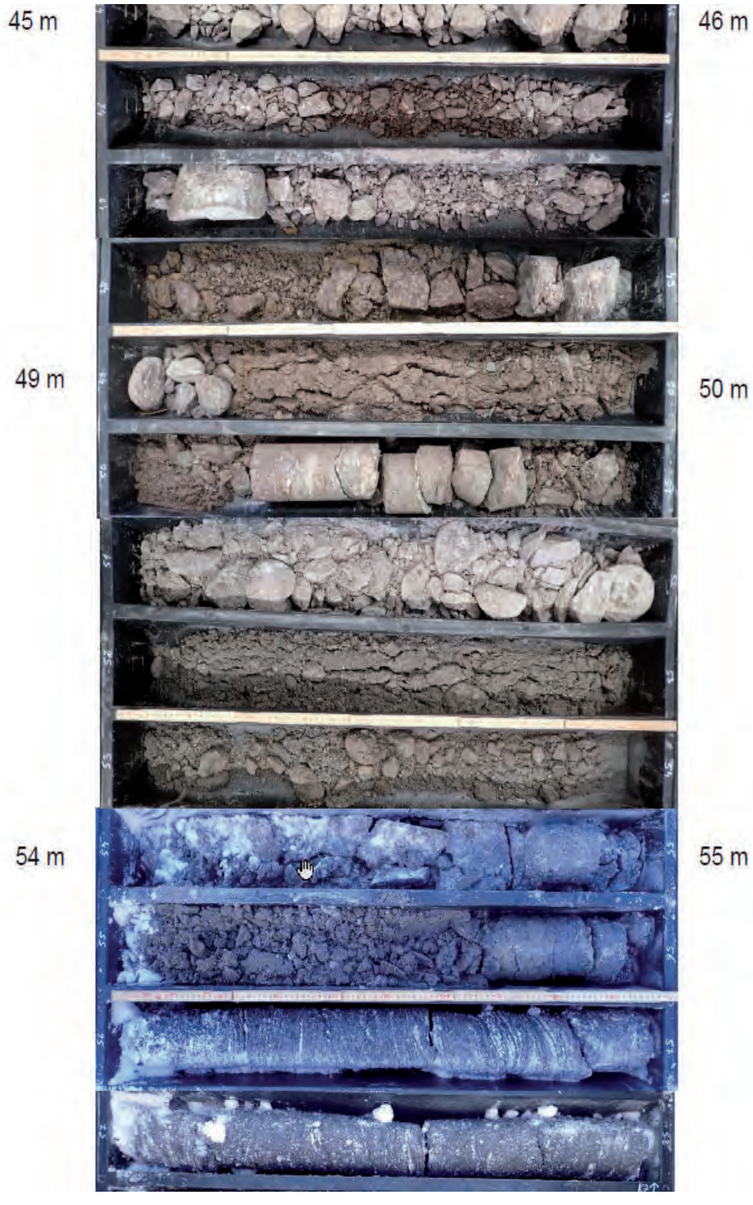
Höhenlage: 756.75 m ü.M.
Koordinaten: 2'724'951 / 1'205'633
Neigung: vertikal
Richtung: ----
Bohrart: Kernbohrung

Bohrprofil Massstab 1 : 100
Ausführungsdatum: 9.11 - 01.12.2023
Bohrmeister: Julian Stojca

Aufnahme: Dr. Lorenz Grämgier, Geologe
Gezeichnet : LG / DL
Format: 30 x 106

Verrohrung Kronen-Typ	Verrohrung Ø [mm]	Koten Höhen [m ü.M.]	Koten Tiefen ab OKT	Profil	Beschrieb des aufgeschlossenen Bohrgutes	Geologische Identifikation	Kernausbeute	Bemerkungen
								Inklinometerrohr: OKR = ca. 756.6 ø = 85 mm





GEOTEST GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE

Auftrag: Glarus Süd, Schwanden, Wagenrus, Expertise Nr. 2324071.1
Koord.: 2'724'935 / 1'205'710

Bohrkernaufnahme B2/23 Dr. von Moos AG Ausschnitt Bereich „Lochsitenkalk"