
Bericht Nr. 1418139.24

Einwohnergemeinde Kandersteg

Kandersteg Rutschung "Spitze Stei", Quartär- und Hydrogeologie Oeschital

Bericht zu den Lockergesteins- und Grundwasserverhältnissen im Holzspicherwald und im Oeschital

Zollikofen, 23. Februar 2022

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

1418139.24

Kandersteg Rutschung "Spitze Stei", Quartär- und Hydrogeologie Oeschital

GEOTEST

GEOLOGEN / INGENIEURE /
GEOPHYSIKER /
UMWELTFACHLEUTE

Autor(en)	Bearbeitete Themen / Fachbereiche
Stefanie Wirth	Gesamter Bericht
Supervision	Visierte Inhalte
Rachel Riner	Gesamter Bericht
Daniel Tobler	Kapitel 7.2
Hinweise	

GEOTEST AG



Rachel Riner



Stefanie Wirth

Inhaltsverzeichnis

1.	Fragestellung	4
2.	Vorgehen und Inhalt des Berichts	4
3.	Verwendete Unterlagen	5
4.	Ausgeführte Arbeiten	6
5.	Vorhandene Grundlagen	6
5.1	Quartärgeologie	6
5.1.1	Übersicht	6
5.1.2	Bergsturzlagerungen	8
5.1.3	Bohrungen nördlich des Oeschibachs	11
5.1.4	Ablagerungen südlich des Oeschibachs	12
5.2	Hang- und Grundwasserverhältnisse	12
5.2.1	Abfluss Oeschinensee und Quellen	12
5.2.2	Erkenntnisse aus Bohrungen	14
6.	Resultate Sondierungen Holzspicherwald	16
7.	Schlussfolgerungen	17
7.1	Zusammenfassung der quartär- und hydrogeologischen Verhältnisse	17
7.2	Einschätzung der unmittelbaren Murgangbildung infolge von Abbrüchen aus dem «Spitze Stei»	18
7.3	Mögliche weitere Untersuchungen	19

Anhang

Karte des Untersuchungsperimeters	1
Baggerschlitz Bs01/21 bis Bs06/21 mit Schichtprofil und Fotos	2.1-2.6

1. Fragestellung

Für die Beurteilung der Sekundärprozesse im Falle eines Ereignisses am Spitze Stei sollen die Lockergesteins- und Grundwasserverhältnisse im Oeschital dokumentiert und falls nötig weiter untersucht werden. Wie in [1] beschrieben, besteht nach wie vor eine Unsicherheit, in welchem Ausmass ein energiereicher Impakt eines Bergsturzereignisses aus dem Spitze Stei Porenwasser auspressen und einen unmittelbaren Murgang auslösen könnte. Im Falle des Ereignisses am Pizzo Cengalo 2017 hat der Wassergehalt der Lockergesteine im Ablagerungsraum der Sturzmasse wahrscheinlich bedeutend zur Entstehung der Murgänge beigetragen [2]. So wird angenommen, dass sich die Sedimente durch den Impakt verflüssigten und mitgerissen wurden. Die saisonal bedingte Lage des Berg-/Hangwasserspiegels könnte für die Entstehung dieser Prozesskette ein wichtiger Faktor gewesen sein [3].

Vor diesem Hintergrund und aufgrund des allgemeinen Bedarfs nach einer Dokumentation der Lockergesteins- und Wasserverhältnisse im Holzspicherwald und im Oeschital wurden die folgenden Arbeiten ausgeführt und mit diesem Bericht dokumentiert.

2. Vorgehen und Inhalt des Berichts

Das Untersuchungsgebiet umfasst den Holzspicherwald südwestlich des Oeschinensees sowie das Oeschital zwischen dem Oeschinensee und Kandersteg. Als Erstes wurde ein Grundlagenstudium zur Quartär- und Hydrogeologie des Untersuchungsgebietes sowie zur Hydrologie des Oeschinensees durchgeführt. Die Datengrundlagen und die Erkenntnisse sind in Kapitel 5 wiedergegeben.

Das Studium der Grundlegendaten ergab, dass insbesondere für das Gebiet südlich des Oeschibachs (inkl. Holzspicherwald) keine Informationen über die Materialzusammensetzung und die Lage eines möglichen Hang- oder Grundwasserspiegels vorhanden sind. Aus diesem Grund wurden am 05.11.2021 Baggerschlitz im Bereich des Holzspicherwaldes durchgeführt. Weitere Sondierungen im Bereich Chalberspissi hätten die Untersuchungen südlich des Oeschibachs komplettieren können. Dieser Bereich liegt im direkten Wirkungsraum von häufigen Sturzprozessen aus dem Spitze Stei, weshalb aus Sicherheitsgründen keine Sondierungen ausgeführt werden konnten. Die Ergebnisse der Sondierungen sind in Kapitel 6 aufgeführt. Der Bericht schliesst mit einer Zusammenfassung der Erkenntnisse und offener Punkte.

Anhang 1 enthält eine Karte des Untersuchungsperimeters mit den Lokalitäten der Baggerschlitzte, der beschriebenen Bohrungen sowie der Lage der im vorliegenden Bericht gezeigten Profilskizzen. Die Anhänge 2.1 bis 2.6 enthalten die Dokumentationen der Baggerschlitzte.

3. Verwendete Unterlagen

- [1] GEOTEST AG (2021): Kandersteg, «Spitze Stei», Gefahrenmanagement 2021, Überprüfung Szenarien und Wirkungsräume, Bericht Nr. 1418139.25, Zollikofen, 31.12.2021.
- [2] Walter W., Amann F., Kos A., Kenner R., Phillips M., de Preux A., Huss M., Tognacca C., Clinton J., Diehl T. und Bonanomi Y. (2020) Direct observations of a three million cubic meter rock-slope collapse with almost immediate initiation of ensuing debris flows. *Geomorphology* 351, 106933.
- [3] Wilhelm C., Feuerstein G.C., Huwiler A. und Kühne R. (2019) Bergsturz Cengalo und Murgänge Bondo: Erfahrungen der kantonalen Fachstelle. *Forum für Wissen* 2019, 53-66.
- [4] Kellerhals P. und Isler A. (1998) Lötschberg-Basistunnel: Geologische Voruntersuchungen und Prognose. *Geologische Berichte*, Nr. 22, Landeshydrologie und -geologie.
- [5] Kellerhals + Haefeli AG (2007) Neufassung Weissenbach, Machbarkeitsstudie. Bern, 23.03.2007.
- [6] Fischer G., Schnegg P.-A., Ma J., Müller I. und Burkhard M. (1987) Etude VLF-R du remplissage quaternaire de la Vallée de Gastern (Alpes Bernoises, Suisse). *Eclogae geol. Helv.* 80, 773-787.
- [7] Tinner W., Kaltenrieder P., Soom M., Zwahlen P., Schmidhalter M., Boscetti A. und Schlüchter C. (2005) Der nacheiszeitliche Bersturz im Kanderthal (Schweiz): Alter und Auswirkungen auf die damalige Umwelt. *Eclogae geol. Helv.* 98, 83-95
- [8] Knapp S., Gilli A., Anselmetti F.S., Kraublatte M. und Hajdas I. (2018) Multistage Rock-Slope Failures Revealed in Lake Sediments in a Seismically Active Alpine Region (Lake Oeschinen, Switzerland). *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 10.1029/2017JF004455.
- [9] Koepfli P., Grämiger L. M., Moore J. R., Vockenhuber C. und Ivy-Ochs S. (2018) The Oeschinensee rock avalanche, Bernese Alps, Switzerland: a co-seismic failure 2300 years ago? *Swiss Journal of Geosciences*, 111, 205-219.

- [10] Singeisen et al. (2020) The Kandersteg rock avalanche (Switzerland): integrated analysis of a late Holocene catastrophic event. *Landslides* 17, 1297–1317.
- [11] Geoportal Kanton Bern: Geologische Grundlagendaten, Bohrprofile Zilfluri. Zugegriffen am 19.10.2021.
- [12] Kellerhals + Haefeli AG (2007) Sanierung Trinkwassergewinnung, Detailabklärungen Hydrogeologie (Phase II). Bern, 04.09.2007.
- [13] Niklaus M. (1967) Geomorphologische und limnologische Untersuchungen am Oeschinensee. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, Nr. 14. Hrsg. Schweizerische Geotechnische Kommission und Hydrologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
- [14] GEOTEST AG (2019) Kandersteg, "Spitze Stei", Expertenbericht Phase A und B. Bericht Nr. 1418139.1, Zollikofen, 08.04.2019.

4. Ausgeführte Arbeiten

- Zusammenstellung und Studium bestehender Unterlagen zur Quartärgeologie und zu den Grundwasserverhältnissen im Oeschital
- Begleitung und geologische Aufnahme von sechs Baggerschlitzten im Holzspicherwald am 05.11.2021
- Vorbereiten von Präsentationen und Teilnahme an Koordinationssitzungen Primär- und Sekundärprozesse
- Verfassen des vorliegenden Berichtes

5. Vorhandene Grundlagen

5.1 Quartärgeologie

5.1.1 Übersicht

Die Felsoberfläche der Region Kandersteg wurde glazial erodiert. Der glaziale Trog von Kandersteg enthält eine bis 350 m mächtige quartäre Sedimentfüllung [4] (Abbildung 1, Abbildung 2). Die Mächtigkeit dieser Lockergesteinsfüllung nimmt bis zum Kraftwerk Zilfluri im Oeschital auf ca. 135 m ab. Wie sie sich entlang des Oeschibachs bis zum Oeschinensee weiterentwickelt, ist nicht genau bekannt. Fest steht, dass nirgends im Oeschital anstehender Fels zu finden ist [5]. Es ist im Oe-

schital jedoch nicht mit einem ähnlich ausgeprägten glazialen Trog wie im Gasteretal zu rechnen [6] (Abbildung 2). Im Gasteretal ist die glaziale Übertiefung morphologisch stark ausgeprägt, da das Tal durch einen nicht glazial erodierten Felsriegel gegen Süden hin abgeschlossen wird (Chluse).

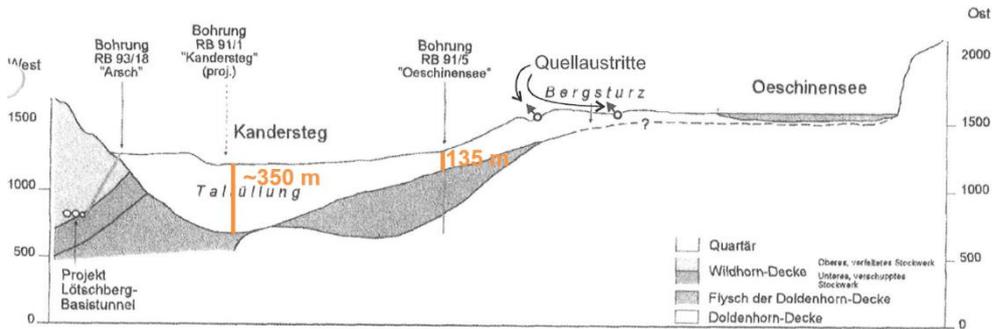


Abbildung 1: Interpretierter W-O-Profileschnitt durch Kandersteg und das Oeschital ([5] entnommen, urspr. Quelle nicht zitiert). Orange beschriftet ist die Mächtigkeit der quartären Lockergesteine in Kandersteg sowie an der Lokalität der Bohrung 'Oeschinensee'.

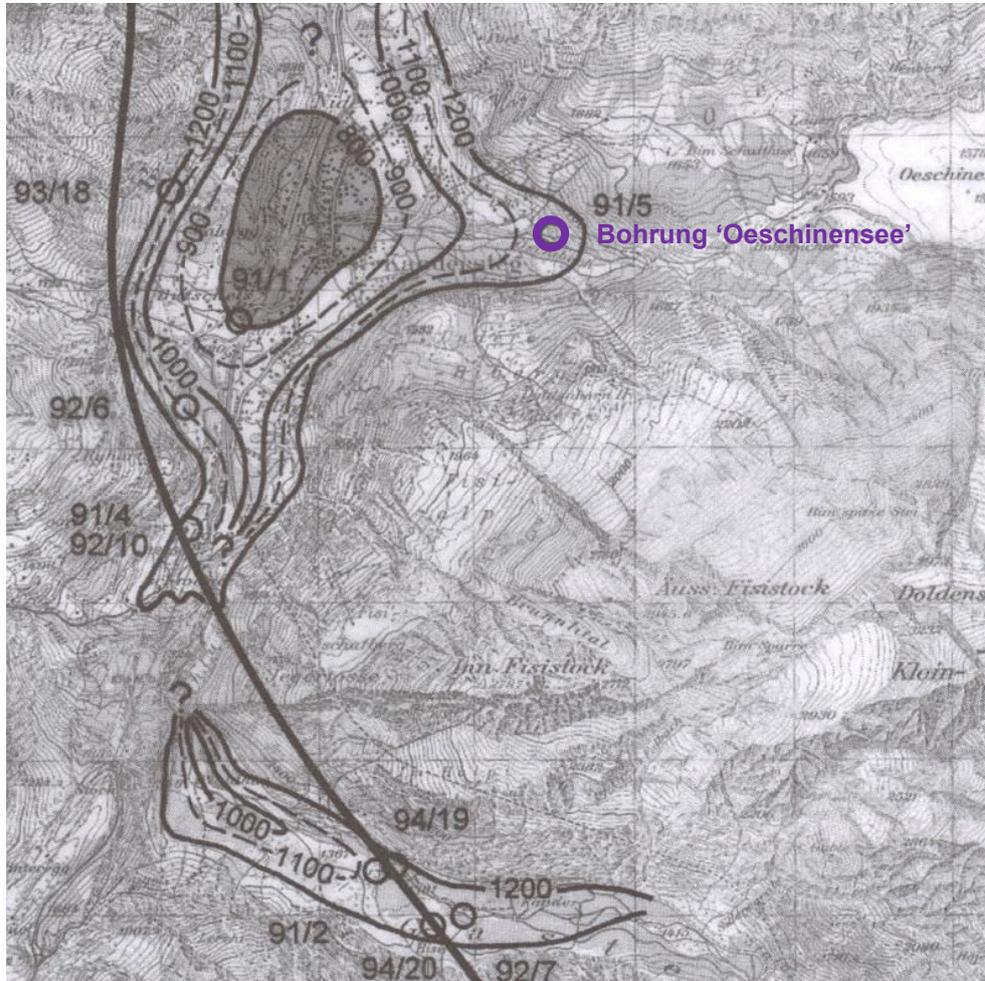


Abbildung 2: Isohypsen der Felsoberfläche im Kander- und Gasteretretro (aus [4]).

5.1.2 Bergsturzablagerungen

Die Nordflanke des Oeschitals ist geprägt von Bergsturzablagerungen. Verschiedene Forschungsstudien haben sich in den letzten 15 – 20 Jahren eingehend mit diesen Bergsturzereignissen beschäftigt. Ursprünglich gingen die Forscher von einem einzigen grossen post-glazialen Bergsturz aus [7]. Untersuchungen der Sedimente des Oeschinensees sowie Oberflächenexpositionsdatierungen mit kosmogenen Nukliden (surface exposure dating) in der vermuteten Anrisszone und im Kandertal haben jedoch gezeigt, dass im Verlauf des Holozäns mehrere Bergsturzereignisse stattgefunden haben [8][9][10].

Für die vorliegende Fragestellung sind die zwei wahrscheinlich grössten Ereignisse relevant; weitere kleinere Bergstürze haben sich vorwiegend im Oeschinensee abgelagert [8].

Das ältere der wahrscheinlich grössten Ereignisse, der 'Kandertal Bergsturz' wurde im Rahmen der jüngsten Studie aus dem Jahr 2020 [10] auf 3210 ± 220 Jahre vor heute datiert mittels der Oberflächendatierung von Blöcken im Kandertal mit ^{36}Cl . Davor hatte das Alter von ca. 9500 Jahre bestand, welches anhand der Radiokarbondatierung von Sedimenten in Kernbohrungen bei Kanderbrück ermittelt wurde [7][9]. Beide Datierungsmethoden beinhalten Unsicherheiten, welche im Kandertal noch an Komplexität gewinnen, weil von mehreren, unterschiedlich grossen holozänen Sturzereignissen und deren Ablagerungen auszugehen ist. Klar hingegen ist, dass die Ablagerungen des 'Kandertal Bergsturzes' im unteren Bereich des Oeschitals sowie in Kandersteg wiederzufinden sind (Abbildung 3, Abbildung 4). Die Bohrung, welche im Rahmen der Voruntersuchungen zum Bau des Lötschbergbasistunnels in Kandersteg abgeteuft wurde (Bohrung RB 91/1 'Kandersteg' in [4], Lokalität in Abbildung 1 und 2), zeigt grösstenteils Bergsturzmaterial. Nur der unterste Teil der 350 m mächtigen quartären Sedimente bestehen aus post-glazialen Ablagerungen. Die Sedimentfüllung im Trog von Kandersteg entspricht also nicht der typischen post-glazialen Verfüllung.

Das jüngere Ereignis ist der 'Oeschinen Bergsturz' mit Anrisszone im Bereich des Spitze Stei, welches im Intervall 2100 bis 2700 Jahre vor heute stattfand [8][9]. Die Ablagerungen konzentrieren sich auf den oberen Bereich des Oeschitals und stauen den Oeschinensee auf (Abbildung 4, Abbildung 5). Der Oeschinensee ist demzufolge vergleichsweise jung. Er entstand nicht wie viele andere alpine Seen nach dem Ende der letzten Eiszeit, sondern erst viel später als Folge eines Bergsturzereignisses. Es ist jedoch möglich, dass bereits die Ablagerungen des 'Kandertal Bergsturzes' einen kleineren, weniger tiefen See aufgestaut haben [8] (Abbildung 5). Das Alter des Oeschinensees wurde mit zwei verschiedenen Methoden reproduziert. Eine Studie datierte die Basis der Sedimentfüllung des Oeschinensees mittels der Radiokarbonmethode (2379 – 2713 cal yr BP [8]); die zweite Studie nahm eine Datierung der durch den Sturz freigelegten Felsoberfläche mit ^{36}Cl (surface exposure dating) vor (2.3 ± 0.2 kyr [9]).

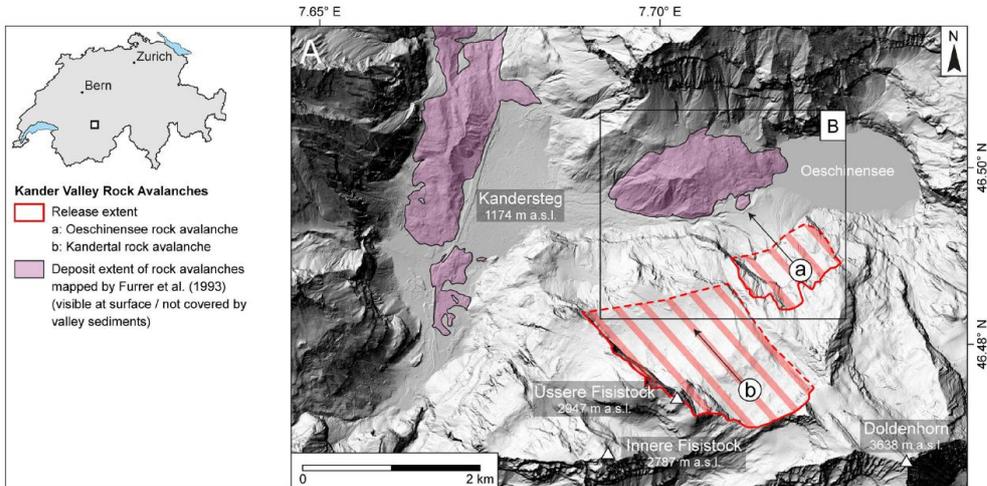


Abbildung 3: Anrissbereiche des 'Oeschinen Bersturzes' (a) und des 'Kandertal Bergsturzes' (b) mit den entsprechenden Ablagerungsgebieten (aus [9]).

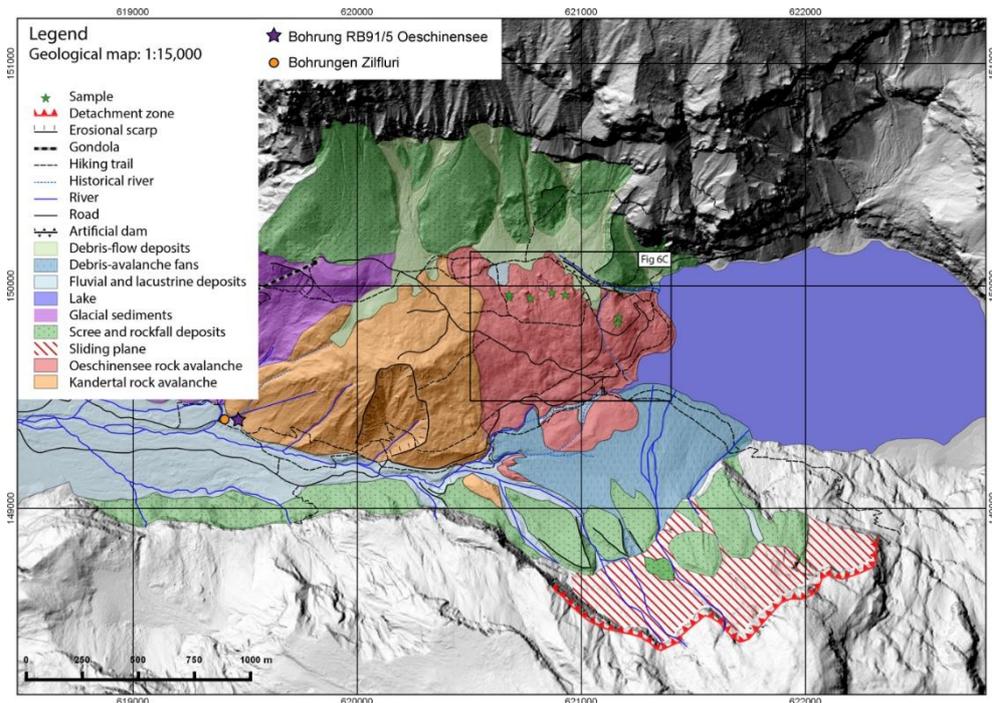


Abbildung 4: Quartärgeologische Karte aus [9] ergänzt mit der Lage der Bohrungen Zilfluri und der Bohrung RB91/5 'Oeschinensee'. Die Darstellung zeigt, dass der jüngere 'Oeschinen Bergsturz' den Oeschinensee aufstaut.

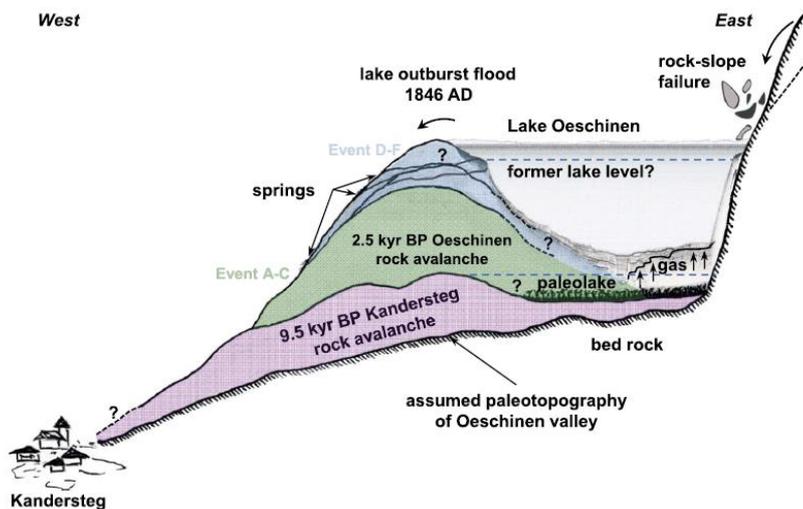


Abbildung 5: Konzeptuelle Skizze des Aufstauens des Oeschinensees durch die Ablagerungen des 'Oeschinen Bergsturzes'. Zudem ist ein 'Paläo-See' angedeutet, welcher möglicherweise aufgrund der Ablagerungen des 'Kandertal Bergsturzes' bestand (aus [8]).

5.1.3 Bohrungen nördlich des Oeschibachs

Im Untersuchungsperimeter sind die folgenden Bohrungen bekannt. Sie befinden sich alle nördlich des Oeschibachs.

- Voruntersuchungen 1991 zum Lötschberg-Basistunnel:
Bohrung Oeschinensee 91/5 [4]
- Vorstudie 1993 zum Neubau Kraftwerk Zilfuri:
3 Bohrungen, davon 3 im Geoportal verzeichnet (mit Schichtprofil)
- Vorstudie 2007 zum Bau Fassungsstollen Wissenbach:
Fünf Bohrungen, davon zwei (B1, B4) im Geoportal des Kantons Bern [11] verzeichnet (ohne Schichtprofil). Informationen zur in den Bohrungen gefundenen Geologie und Hydrogeologie bezogen wir aus den Berichten zur Vorstudie [5][12].

Im Schichtprofil der Bohrung RB91/5 'Oeschinensee' wurden die ersten 135 m als quartäre Sedimente charakterisiert. Die Bergsturzablagerungen machen dabei die obersten 91 m aus. Wahrscheinlich stammt dieses Material vorwiegend vom älteren 'Kandertal Bergsturz' (vgl. Lokalität der Bohrung in Abbildung 4). Es ist anzunehmen, dass die Bergsturzablagerungen aus vorwiegend kiesigen Komponenten mit einer feinkörnigen Matrix bestehen und Blöcke enthalten. Eine genauere Charakterisierung der Quartärsedimente ist in [4] jedoch nicht enthalten. Unter den Bergsturzablagerungen folgen 34 m Gehängeschutt, 6 m fluviatile Ablagerungen

und noch einmal 4 m Gehängeschutt. Die untersten 44 m entsprechen also wahrscheinlich post-glazialen Ablagerungen, welche anschliessend vom Bergsturz überdeckt wurden.

Für den Neubau der Zentrale Zilfuri wurden drei 10 m tiefe Bohrungen erstellt, welche ca. 75 m westlich der Bohrung 'Oeschinensee' liegen [11]. Das Material wurde als tonig-siltiger Kies mit Steinen (6.3 cm bis 20 cm) und Blöcken bis 40 cm beschrieben und als Hangschutt interpretiert. In Abbildung 4 ist ersichtlich, dass sich die drei Bohrungen tatsächlich ausserhalb des kartierten Perimeters der Bergsturmasse befinden.

Weitere Sondierbohrungen wurden für den Bau des Fassungsstollen Wissenbach ausgeführt [12]. Die Fassung Wissenbach lag als Bachwasserfassung vor. Um Verschmutzungsprobleme in Zukunft zu vermeiden, wurde entschieden einen Fassungsstollen zu bauen. Für diesen Fassungsstollen liegen die Machbarkeitsstudie (März 2007) sowie die Detailabklärungen zur Dimensionierung des Stollens (Sep 2007) vor [5][12]. Die fünf realisierten Bohrungen wurden senkrecht bis horizontal und Richtung Nord bis Ost ausgeführt. Die Bohrlängen betragen maximal 50 m. Es wurde ausschliesslich 'Gehängeschutt und Bergsturmateriale' [12] erbohrt. Das Material wird beschrieben als 'Blöcke und Steine vermischt mit sandigem Kies und wechselndem Siltgehalt, welches relativ locker gelagert ist'. Die Felsoberfläche wurde in keiner Bohrung erreicht.

5.1.4 Ablagerungen südlich des Oeschibachs

Im Gebiet südlich des Oeschibachs sind keine Bohrungen bekannt.

Bergsturzablagerungen sind hier keine oder nur geringmächtige zu erwarten: Die Südgrenze der Bergsturmaste reicht nicht über den Oeschibach hinaus (Abbildung 4). Es ist anzunehmen, dass sich die Lockergesteinsbedeckung vorwiegend aus Wildbachablagerungen (Bachschuttkegel) und Hangschutt zusammensetzt. Das Quellgebiet dieses Materials ist das Gebiet des Spitze Stei mit den Kalksteinen, Zementsteinschichten und Schiefen der Doldenhorndecke.

5.2 Hang- und Grundwasserverhältnisse

5.2.1 Abfluss Oeschinensee und Quellen

Der Oeschinensee wurde durch die Ablagerungen des 'Oeschinen Bergsturzes' aufgestaut und ist 2100 bis 2700 Jahre alt (vgl. Kapitel 5.1.2).

Der oberirdische Abfluss des Oeschinensees wurde Mitte des 19. Jahrhunderts künstlich abgedämmt, seit dann bestehen nur noch sublakustrische Abflüsse [5]. Es wird angenommen, dass der See nebst den oberflächlichen auch über sublakustrische Zuflüsse verfügt. Mehrere Versickerungsstellen befinden sich wahrscheinlich am westlichen Ende des Oeschinensees. Bei tiefem Seewasserstand können diese Versickerungsstellen beobachtet werden [13].

Gemäss [5] speist der unterirdische Abfluss des Oeschinensees die Quellen des Oeschibachs bei Holzspicher und Chalberspissi sowie die Austritte beim Wissenbach; ausserdem sickert Seewasser diffus in den Oeschibach. Auch in [13] sind Quellen dokumentiert, welche in hydraulischem Kontakt mit dem Oeschinensee stehen. Diese Austritte befinden sich insbesondere im Gebiet Holzspicher auf Koten von 1551 bis 1573 m ü. M. Zwei Quellen auf 1573 und 1572 m ü. M. werden als temporär bezeichnet; die Quellen zwischen 1566 und 1551 m ü. M. als permanent. Das beschriebene Quellsystem stellt also verschiedene Austrittspunkte des Wasserhorizontes dar, welcher hydraulisch mit dem Oeschinensee verbunden ist (Abbildung 7). Die Quellschüttungen unterliegen jedoch einem starken Jahresgang: Sie sind abhängig vom hydraulischen Druck, der durch die Höhenlage des Spiegels des Oeschinensees kontrolliert wird. Die Landeskarte zeigt den Seespiegel des Oeschinensees auf 1580 m ü. M., was dem Höchststand entspricht. Die saisonalen Schwankungen können mithilfe einer Messreihe von 1931 bis 1965 illustriert werden [13]. Während dieser Periode variierte der Seespiegel zwischen 1567.1 m ü. M. (April) und 1579.3 m ü. M. (anfangs September) (Abbildung 6). Die jährliche Amplitude des Seespiegels betrug während dieser Messperiode also ca. 12.2 m. Es ist anzunehmen, dass die Schwankungen heutzutage in einem ähnlichen Rahmen verlaufen. Der bedeutendste Quellaustritt beim Holzspicher befindet sich etwa auf 1570 m ü. M. Damit wird klar, warum diese Quelle im Winter kaum oder kein Wasser führt.

Seit den Untersuchungen von M. Niklaus (1967) [13] wurden die Quellschüttung und die Seespiegelschwankungen unseres Wissens nicht mehr systematisch untersucht. Die Universität Bern hat zwar Monitoringstudien zum Oeschinensee durchgeführt. Diese fokussierten jedoch auf die Sedimentationsprozesse im See und nicht auf den Abfluss des Sees.

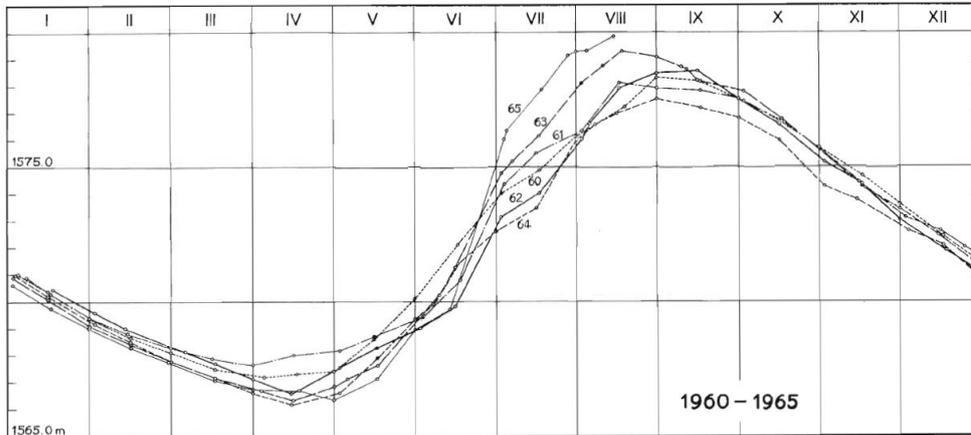


Abbildung 6: Seespiegelschwankung im Jahresverlauf für die Jahre 1960 bis 1965 (aus [13]).

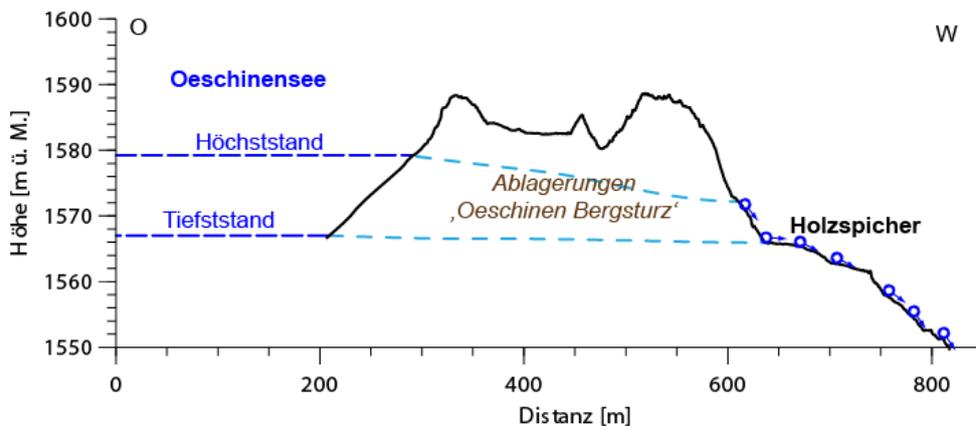


Abbildung 7: O-W-orientierte Profilskizze für die Illustration des unterirdischen Abflusses des Oeschinensees (hellblau) und des damit verbundenen Wasser- bzw. Quellhorizontes auf Höhe der Region Holzspicher (1573 bis 1551 m ü. M. [13]). Gezeigt wird ausserdem der Höchst- und Tiefststand des Sees. Die Lage des Profils ist in Anhang 1 dargestellt.

5.2.2 Erkenntnisse aus Bohrungen

Fassungsstollen Wissenbach

In den Sondierbohrungen zum Bau des Fassungsstollen Wissenbach wurde der Wasserspiegel im Jahr 2007 auf 1483 bis 1485 m ü. M. angetroffen [12]. Frühere Abklärungen haben gezeigt, dass die Fassungen Holzspicher, Chalberspissi und

Wissenbach fast ausschliesslich Seewasser führen. Der Wasserspiegel in den Sondierbohrungen für den Fassungsstollen reagierte nicht oder nur gering auf Fluktuationen des Spiegels des Oeschinensees. Wahrscheinlich, weil er bereits bedeutend tiefer liegt als die Region der obersten Austrittspunkte des Seewassers (Holzspicher) und dementsprechend nicht mehr durch die Seespiegelschwankungen beeinflusst wird. Der Gradient beträgt 3 – 4 %. Gemessen wurde im Juni und Juli 2007, währenddessen stieg der Seespiegel um 5.7 m an.

Aufgrund der Messungen und des Monitorings in den gesamthaft fünf realisierten Bohrungen wurde interpretiert, dass das Grundwasser im Bereich der Untersuchungen hangparallel talwärts fließt und dass die Zuflussrichtung nicht direkt aus Richtung Oeschinensee her erfolgt (Ost) sondern aus Nord bis Nordost.

Kraftwerk Zilfluri und Oeschibach

In den Bohrungen zum Neubau des Kraftwerkes Zilfluri wurde der Grundwasserspiegel auf Tiefen von 6.11 m (1275.87 m ü. M.), 8.35 m (1272.75 m ü. M.) und 5.84 m (1272.96 m ü. M.) angetroffen.

Austausch zwischen dem Oberflächenwasser des Oeschibachs und dem Grundwasser wird von verschiedenen im aktuellen Projekt zum Spitze Stei involvierten Personen beschrieben und ist auch in [13] dokumentiert. Wir gehen deshalb davon aus, dass talwärts von Holzspicher die Lockergesteinsfüllung unterhalb des Niveaus des Oeschibachs wassergesättigt ist. Der Flurabstand nimmt mit Entfernung zum Oeschibach und mit dem Anstieg des Geländes wahrscheinlich zu. Illustriert wird diese Situation durch die konzeptuelle Profilskizze in Abbildung 8 auf Höhe des Kraftwerkes Zilfluri.

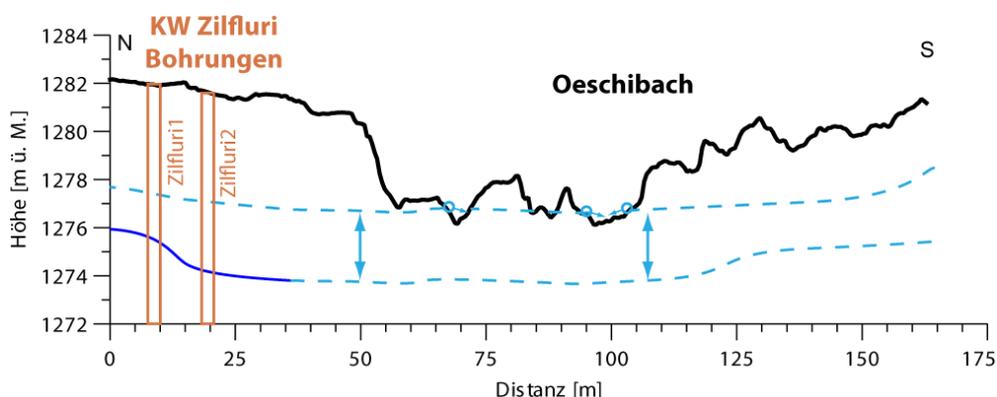


Abbildung 8: N-S-orientierte Profilskizze für die Illustration des Flurabstandes des Grundwasserspiegels für den Zustand eines maximalen und eines minimalen Hangwasserspiegels in den Bohrungen Zilfluri und im Bereich des Oeschibachs. Für Lage des Profils vgl. Anhang 1.

6. Resultate Sondierungen Holzspicherwald

Am 05.11.2021 wurden mit einem Schreitbagger (Menzi Muck) der Firma Heini-ger's sechs Baggerschlitze erstellt. Die geologische Aufnahme der Sondierungen erfolgte durch die GEOTEST AG. Die Dokumentationen der Schlitze erfolgt anhand eines Schichtprofils. Die Profile der Baggerschlitze sind zusammen mit Fotos in den Anhängen 2 bis 7 aufgeführt.

Drei Baggerschlitze (Bs01-21 bis Bs03-21) wurden entlang einer ansteigenden Linie zwischen 1584 und 1630 m ü. M. erstellt, welche der aktuellen Hauptrinne des Wildbaches entspricht. Ein Baggerschlitz (Bs04-21) wurde lateral versetzt zur Rinne auf Höhe Bs02-21 erstellt. Zwei weitere Baggerschlitze (Bs05-21 und Bs06-21) erfolgten nahe am Seeufer, um den Kontakt zwischen Seewasser und Grundwasser zu verfolgen.

Die Endtiefen der Baggerschlitze liegen zwischen 3.3 und 4.6 m. Das Material ist kiesdominiert mit einer tonigen Komponente. Die Feldansprache hat gezeigt, dass die Feinanteile leicht variieren. Für eine genaue quantitative Angabe wäre eine Laboranalyse der Korngrößenverteilung notwendig.

Im höchstgelegenen Baggerschlitz Bs03-21 ist der untere Bereich ab 3.4 m deutlich toniger. Es konnten hier Klumpen aus Ton und Kies gegriffen werden, ohne dass sie auseinanderfielen. Ein ähnliches Bild zeigt sich im unteren Bereich von Bs04-21, jedoch nicht ganz so ausgeprägt.

Mit zunehmender Höhe wurden die gebaggerten Blöcke grösser (maximale Grösse 80 cm in Bs03-21).

Das Material war durchgehend feucht und lokal vernässt. Ein Wasserspiegel konnte jedoch nur in Bs06-21 beobachtet werden. Dieser zeugt von einer hydraulischen Verbindung mit dem See. Wie sich diese ab Baggerschlitz Bs06-21 weiter bergwärts fortsetzt, ist nicht bekannt und bleibt interpretativ (Abbildung 9). Es ist möglich, dass im Untergrund eine hydraulische Verbindung besteht zwischen dem am Fuss der Felswand in den Schuttfächer des Holzspicherwaldes infiltrierenden Wasser und dem See sowie möglicherweise auch mit dem Gebiet Holzspicher (vgl. Kapitel 5.2.1).

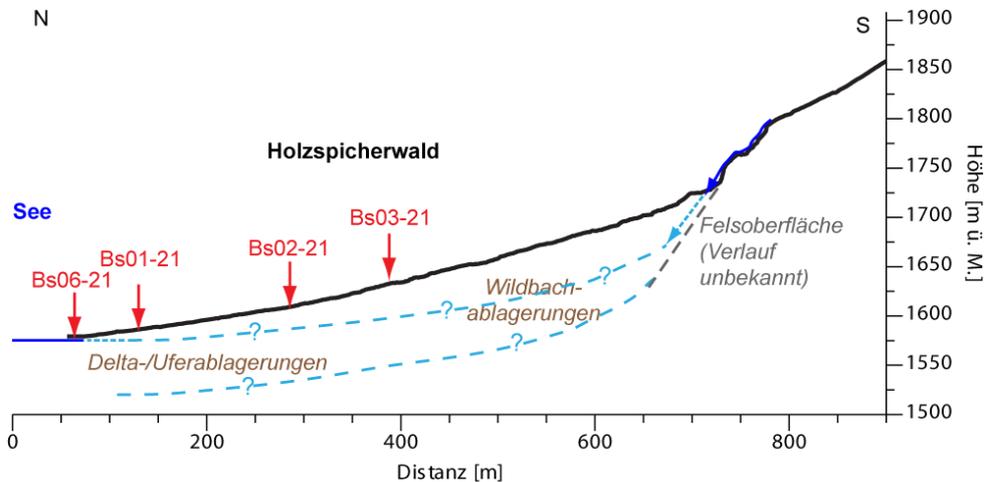


Abbildung 9: Profilskizze durch den Holzspicherwald (rote Linie in Anhang 1). Eingezeichnet sind die Terrainoberfläche (schwarz), die Lage der Baggererschlitze entlang der Profillinie (rot) sowie ein interpretierter Hangwasserpegel (hellblau), dessen Tiefenlage ausser in Bs06-21 unbekannt ist.

7. Schlussfolgerungen

7.1 Zusammenfassung der quartär- und hydrogeologischen Verhältnisse

Die Quartärgeologie und die Hang- und Grundwasserverhältnisse im Holzspicherwald und im Oeschital wurden mithilfe existierender Studien sowie neuer Baggererschlitze in diesem Bericht dargestellt.

Die folgende Auflistung fasst die wichtigsten Punkte zusammen:

- Im Oeschital zwischen Oeschinensee und Kandersteg ist nirgends Fels anstehend.
- Die Mächtigkeit der quartären Ablagerungen im Oeschital beträgt 135 m beim Kraftwerk Ziffluri (Bohrung RB91/5 'Oeschinensee'). Talabwärts nimmt die Mächtigkeit bis Kandersteg auf 350 m zu. Ihre Entwicklung talaufwärts ist nicht genau bekannt. Es ist jedoch von einer Mächtigkeit von mehreren Zehner Metern auszugehen.
- Nordseitig des Oeschibaches dominieren zwischen dem Oeschinensee und der Bohrung RB91/5 'Oeschinensee' die Ablagerungen des 'Oeschinen Bergsturzes' und des 'Kandertal Bergsturzes'.

- Südseitig des Oeschibaches im Holzspicherwald und im Gebiet Chalberspissi bestehen die quartären Sedimente aus Hangschutt- und Wildbachablagerungen. Bergsturzaablagerungen sind nicht oder nur geringfügig vorhanden.
- Der Oeschinensee entwässert sublakustrisch und speist verschiedene Quellen (Holzspicher, Chalberspissi, Wissenbach).
- Im Gebiet Holzspicher befindet sich ein eigentlicher Quellhorizont. Die Quellen stellen die Austrittspunkte eines Wasserhorizontes dar, der mit dem Oeschinensee verbunden ist. Die Schüttungsmenge insbesondere der höher gelegenen Quellen variiert mit der saisonalen Lage des Seespiegels.
- Der Flurabstand beträgt entlang des Oeschibachs wahrscheinlich maximal einige wenige Meter. Direkter Austausch zwischen dem Oberflächenwasser des Baches und dem Grundwasser ist zu beobachten.
- Die Lage des Hangwasserpegels im Holzspicherwald und bei Chalberspissi ist weitgehend unbekannt. Im Holzspicherwald liegt er im Winter > 4 m unter Terrain; bei Chalberspissi ist anzunehmen, dass er auf Höhe der Wildbachrinnen oder tiefer liegt.

7.2 **Einschätzung der unmittelbaren Murgangbildung infolge von Abbrüchen aus dem «Spitze Stei»**

In [14] wurde diskutiert, in welchem Ausmass ein energiereicher Impakt eines Bergsturzes am «Spitze Stei» im Bereich Chalberspissi/Holzspicherwald einen unmittelbaren Murgang auslösen könnte. Dazu wurden Annahmen zur Charakterisierung der Talfüllung sowie des Absturzmechanismus getroffen. Basierend auf den Erkenntnissen der vorliegenden quartärgeologischen Untersuchungen sowie den Abbruchszenarien 2021 [1] können die damals getroffenen Annahmen präzisiert und somit robustere Aussagen zur Wahrscheinlichkeit eines instantanen Verflüssigungsszenarios gemacht werden.

Wie in [14] angenommen, handelt es sich beim Bach- und Gehängeschutt des Holzspicherwaldes um ein korngestütztes Lockermaterial, in dem sich kein zusammenhängender Grundwasserspiegel ausbildet. Der Grundwasserspiegel wurde bis in eine Sondiertiefe von 4 m nicht angetroffen. Aufgrund fehlender Quellen/Vernässungen innerhalb der Schuttfächer darf angenommen werden, dass der Grundwasserspiegel deutlich tiefer liegt (vgl. auch Abbildung 9). Das Medium ist generell wenig kompaktierbar; ein Auspressen des Porenwassers sowie die Bildung eines Scherbruches ist nur infolge eines sehr energiereichen Impaktes denkbar.

Die potentielle Sturzmasse am «Spitze Stei» ist stark fragmentiert; Sturzereignisse bis 3 Mio. m³ (alle Szenarien ausser S5 und S6 gemäss [1]) erfolgen als Einzelabbrüche oder dann in mehreren grossen Stürzen. Aufgrund der gestuften Morphologie im Transitgebiet darf davon ausgegangen werden, dass solche Abstürze als mehr oder weniger ausgedehnte Schuttströme erfolgen. Ein energiereicher Impact auf die Gehänge-/Bachschuttfelder, gefolgt von einem Auspressen von Porenwasser, wird bei kaskadenförmigen Abbrüchen deshalb als wenig wahrscheinlich bis unwahrscheinlich eingestuft.

Ein energiereicher Impact auf die Gehänge-/Bachschuttfelder in kompakter Form ist bei einem grossen Bergsturz (bis 8 Mio. m³ sowie ein Gesamtabbruch von 20 Mio. m³ (S6 gemäss [1])) allenfalls denkbar. Diese Abbruchszenarien, und damit auch die Auslösung eines instantanen Murgangs, werden in [1] als wenig wahrscheinlich bis unwahrscheinlich eingestuft.

Aufgrund dieser Überlegungen wird ein unmittelbarer Murgang als Folge des Auspressens von Porenwasser und der Verflüssigung von Lockergesteinen im Impactgebiet des Spitze Stei weiterhin als wenig wahrscheinlich bis unwahrscheinlich erachtet.

7.3 Mögliche weitere Untersuchungen

Sofern zu einem späteren Zeitpunkt weitere Fragen auftreten, die allenfalls zusätzliche, vertiefte Abklärungen erfordern würden, sehen wir folgende Möglichkeiten:

- Lage Hangwasserspiegel: Um die Lage des Hangwasserspiegels im Jahresverlauf zu untersuchen, können Piezometer installiert werden, welche mit kontinuierlich messenden Wasserpegelsensoren ausgerüstet werden.
- Lage Grundwasserhorizont / Schüttmengen Quellen: Um die Lage des Grundwasserhorizontes und die Schüttmenge der Quellen bei Holzspicher besser zu verstehen, können gezielt Piezometer installiert sowie eine hydrologische und hydrogeologische Kartierung durchgeführt werden. Letztere sollte bei Höchststand des Sees im September stattfinden und im Spätherbst bei einem deutlich tieferen Wasserstand, aber noch aperen Bedingungen wiederholt werden.

1418139.24

Kandersteg Rutschung "Spitze Stei", Quartär- und Hydrogeologie Oeschital

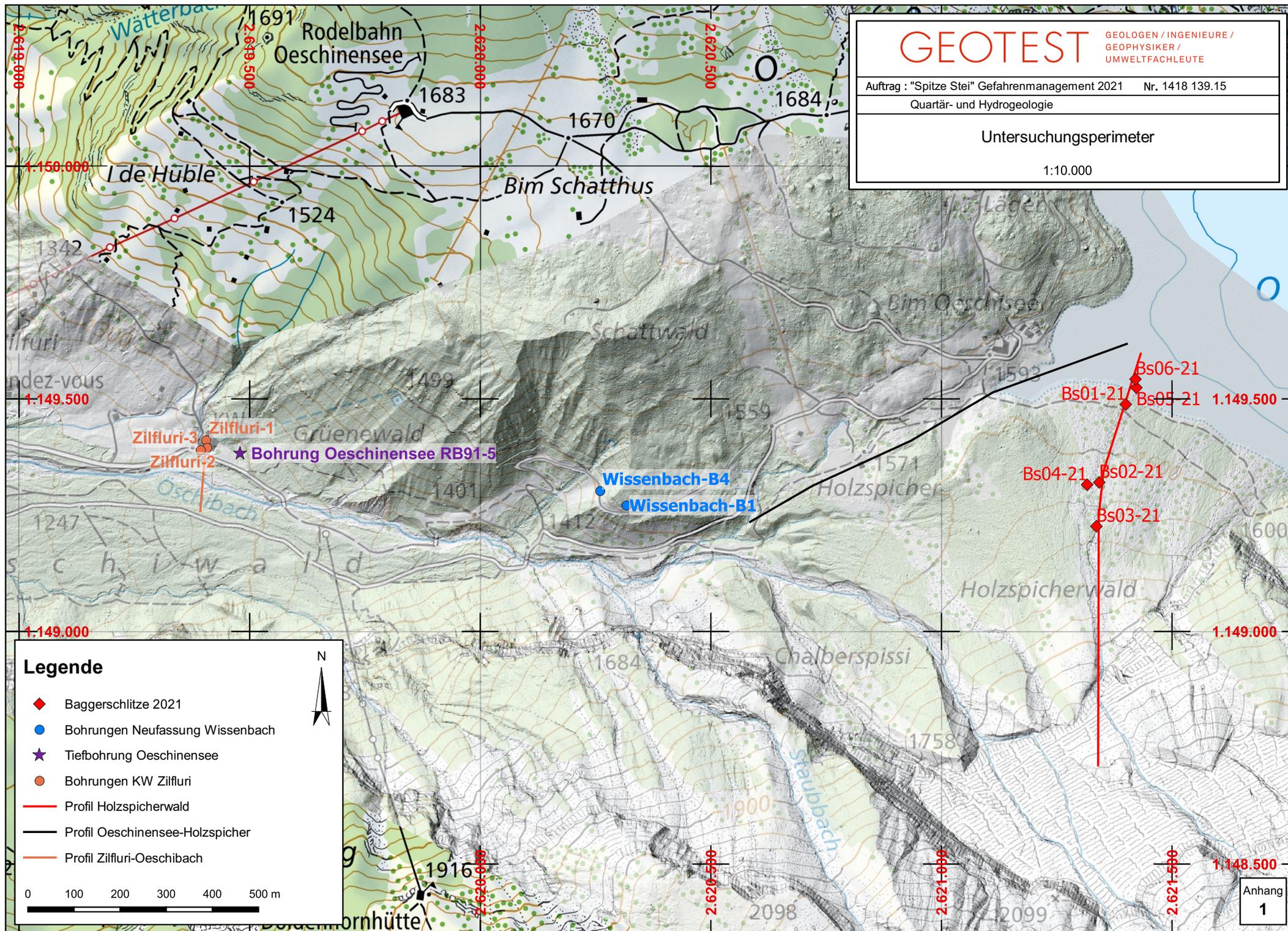
GEOTEST

GEOLOGEN / INGENIEURE /
GEOPHYSIKER /
UMWELTFACHLEUTE

Anhang 1 Karte des Untersuchungsperimeters

Untersuchungsperimeter mit den Lokalitäten alter Bohrungen, den im November 2021 realisierten Baggerschlitzten sowie den Profillinien für Abbildungen 7, 8 und 9.

Kartengrundlage: Topographische Karte (swisstopo) und Reliefbild



1418139.24

Kandersteg Rutschung "Spitze Stei", Quartär- und Hydrogeologie Oeschital

GEOTEST

GEOLOGEN / INGENIEURE /
GEOPHYSIKER /
UMWELTFACHLEUTE

Anhang 2 Baggerschlitz Bs01/21 bis Bs06/21

Dokumentation Baggerschlitz mit Schichtprofil und Fotos

Objekt : Kandersteg, "Spitze Stei" Auftrag Nr. : 1418139.1

Datum : 05.11.2021

Unternehmung : Heiniger's

Gerät : Menzi Muck M545, Schaufelbreite 80 cm

Aufgenommen durch : S. Wirth / gez.: U. Pfyffer

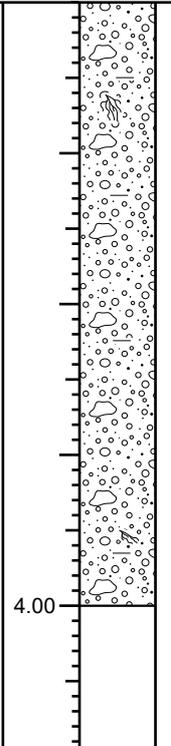
Baggerschlitz 1:50

Pm. Wsp.	Tiefe	Profil	Proben	Materialbeschreibung	Versuche / Geologische Interpretation
----------	-------	--------	--------	----------------------	---------------------------------------

Bs 01/21

Koord.: 2'621'399 / 1'149'488

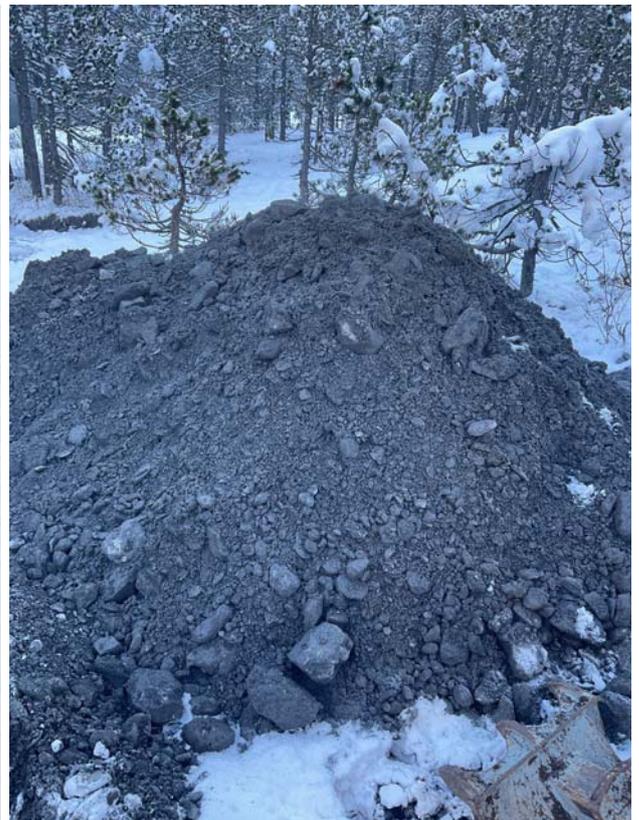
Terrainkote: 1584.7 m ü.M.



Fein- bis Grobkies, schwach tonig, schwach fein- bis grobsandig, mit Steinen (\varnothing bis 30 cm), scharfkantig bis kantengerundet, wenige Wurzeln, feucht, dunkelgrau

Delta- und Uferablagerung
Ad

- Schlitz lokal eingebrochen
- trocken



Objekt : Kandersteg, "Spitze Stei" Auftrag Nr. : 1418139.1

Datum : 05.11.2021

Unternehmung : Heiniger's

Gerät : Menzi Muck M545, Schaufelbreite 80 cm

Aufgenommen durch : S. Wirth / gez.: U. Pfyffer

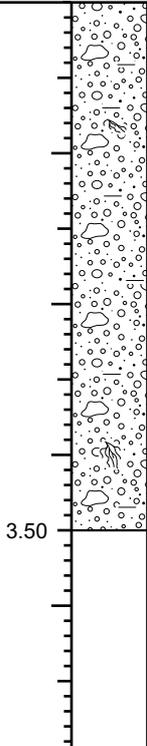
Baggerschlitz 1:50

Pm. Wsp.	Tiefe	Profil	Proben	Materialbeschreibung	Versuche / Geologische Interpretation
----------	-------	--------	--------	----------------------	---------------------------------------

Bs 02/21

Koord.: 2'621'341 / 1'149'321

Terrainkote: 1610.8 m ü.M.



Fein- bis Grobkies, tonig, fein- bis grobsandig, mit Steinen (ø bis 50 cm), scharfkantig bis kantengerundet, wenige Wurzeln, feucht, dunkelgrau

Wildbachablagerung, Murgangablagerung
At

- Schlitz lokal eingebrochen
- trocken



Objekt : Kandersteg, "Spitze Stei" Auftrag Nr. : 1418139.1

Datum : 05.11.2021

Unternehmung : Heiniger's

Gerät : Menzi Muck M545, Schaufelbreite 80 cm

Aufgenommen durch : S. Wirth / gez.: U. Pfyffer

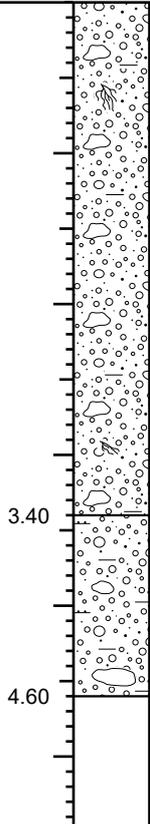
Baggerschlitz 1:50

Pm. Wsp.	Tiefe	Profil	Proben	Materialbeschreibung	Versuche / Geologische Interpretation
----------	-------	--------	--------	----------------------	---------------------------------------

Bs 03/21

Koord.: 2'621'336 / 1'149'226

Terrainkote: 1630.8 m ü.M.



Fein- bis Grobkies, stark fein- bis grobsandig, tonig, mit Steinen (ø bis 80 cm), scharfkantig bis kantengerundet, wenige Wurzeln, dunkelgrau

Fein- bis Mittelkies, stark tonig, schwach sandig, schwach siltig, mit Steinen (ø bis 25 cm), scharfkantig bis kantengerundet, feucht, braun

Wildbachablagerung, Murgangablagerung
At

- Schlitz lokal eingebrochen
- trocken



Objekt : Kandersteg, "Spitze Stei" Auftrag Nr. : 1418139.1

Datum : 05.11.2021

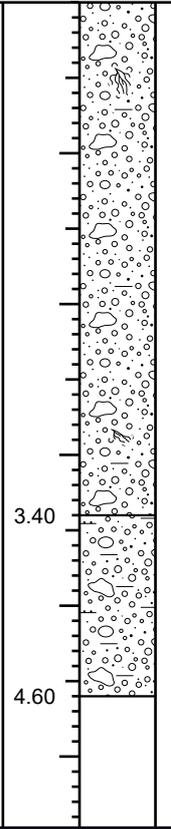
Unternehmung : Heiniger's

Gerät : Menzi Muck M545, Schaufelbreite 80 cm

Aufgenommen durch : S. Wirth / gez.: U. Pfyffer

Baggerschlitz 1:50

Pm. Wsp.	Tiefe	Profil	Proben	Materialbeschreibung	Versuche / Geologische Interpretation
Bs 04/21 Koord.: 2'621'315 / 1'149'316 Terrainkote: 1612.7 m ü.M.					



Fein- bis Grobkies, sandig, tonig, mit Steinen (ø bis 65 cm), scharfkantig bis kantengerundet, wenige Wurzeln, feucht, dunkelgrau

Fein- bis Grobkies, stark tonig, sandig, silty, mit Steinen (ø bis 25 cm), scharfkantig bis kantengerundet, feucht, dunkelbraun

Wildbachablagerung, Murgangablagerung
At

- Schlitz lokal eingebrochen
- trocken



Objekt : Kandersteg, "Spitze Stei" Auftrag Nr. : 1418139.1

Datum : 05.11.2021

Unternehmung : Heiniger's

Gerät : Menzi Muck M545, Schaufelbreite 80 cm

Aufgenommen durch : S. Wirth / gez.: U. Pfyffer

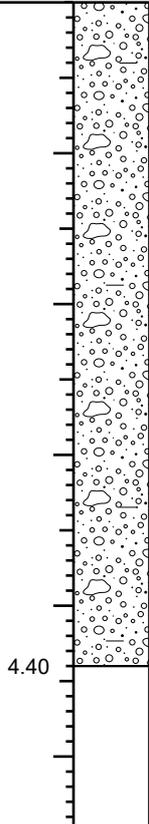
Baggerschlitz 1:50

Pm. Wsp.	Tiefe	Profil	Proben	Materialbeschreibung	Versuche / Geologische Interpretation
----------	-------	--------	--------	----------------------	---------------------------------------

Bs 05/21

Koord.: 2'621'422 / 1'149'524

Terrainkote: 1579.5 m ü.M.



Fein- bis Grobkies, stark sandig, schwach tonig, mit Steinen (ø bis 30 cm), scharfkantig bis kantengerundet, feucht, dunkelgrau

Delta- und Uferablagerung
Ad

- Schlitz lokal eingebrochen
- trocken



Objekt : Kandersteg, "Spitze Stei" Auftrag Nr. : 1418139.1

Datum : 05.11.2021

Unternehmung : Heiniger's

Gerät : Menzi Muck M545, Schaufelbreite 80 cm

Aufgenommen durch : S. Wirth / gez.: U. Pfyffer

Baggerschlitz 1:50

Pm. Wsp.	Tiefe	Profil	Proben	Materialbeschreibung	Versuche / Geologische Interpretation
Bs 06/21 Koord.: 2'621'420 / 1'149'542 Terrainkote: 1577.0 m ü.M.					

 3.30				<p>Fein- bis Grobkies, sandig, schwach tonig, mit Steinen, scharfkantig bis kantengerundet, feucht, dunkelgrau</p>	<p>Delta- und Uferablagerung Ad</p>
				<ul style="list-style-type: none"> - Schlitz eingebrochen - Wasserspiegel auf ca. 2.8 m / ca. 5 l/min - Wasserzutritt im Schlitz entspricht ungefähr Seelevel 	

