
Bericht Nr. 1418139.9

Einwohnergemeinde Kandersteg

**Kandersteg "Spitze Stei",
Permafrostuntersuchungen**

Kurzbericht

Zollikofen, 25. Mai 2020

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

Autor(en)	Bearbeitete Themen / Fachbereiche
Christian Kienholz	Ganzer Bericht
Supervision	Visierte Inhalte
Kaspar Graf	Ganzer Bericht
Hinweise	

GEOTEST AG



Kaspar Graf



Christian Kienholz

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
2.	Vorhandene Unterlagen	4
3.	Bohrstandorte und Instrumentierung	5
3.1	Westgrat (TB 1 und TB 2)	7
3.2	Gipfel (TB 3).....	8
3.3	Zentrum (TB 4).....	8
4.	Untersuchungsergebnisse	10
4.1	Bohraufnahmen.....	10
4.1.1	Herausforderungen	10
4.1.2	Westgrat (TB 1 und TB 2)	10
4.1.3	Gipfel (TB 3).....	11
4.1.4	Zentrum (TB 4).....	12
4.2	Temperaturmessungen (TB 2–TB 4)	13
4.3	Druckmessungen (TB 2–TB 4)	16
4.4	Deformationsmessungen Westgrat (TB 1)	16
4.5	Vergleich mit anderen Studien.....	18
4.5.1	Permafrostkarte SLF	18
4.5.2	Geoelektrik Uni Fribourg	19
4.5.3	Station Doldenstock	20
4.5.4	Geologisches Modell.....	21
5.	Abschliessende Bemerkungen	22
6.	Anhang 1 – Zusatzinformationen Instrumentierung	23
6.1	Verrohrung	23
6.2	Thermistorenketten	23
6.3	Drucksensoren	24
7.	Anhang 2 – Bohrlochprofile.....	25
8.	Anhang 3 – Aufnahmen Bohrlochkamera	26
8.1	Aufnahmen TB 1	26
8.2	Aufnahmen TB 2	29
8.3	Aufnahmen TB 3	33
8.4	Aufnahmen TB 4	35
9.	Anhang 4 – Inklinometermessungen	37

1. Einleitung

Im Sommer 2018 wurden am "Spitze Stei" oberhalb des Oeschinensees bei Kandersteg Bewegungen von rund 20 Mio. m³ Felsmaterial beobachtet. Seither wird das Gebiet überwacht. Als Grundlage für das Gefahrenmanagement am "Spitze Stei" wurden ein geologische Prozessmodell erarbeitet sowie Prozessräume und zu erwartende Intensitäten für verschiedene Abbruchszenarien modelliert [1].

Im Rahmen der geologischen Untersuchungen wurden im Winter 2020 vier Tastbohrungen im Rutschgebiet abgeteuft. Drei der Bohrungen wurden mit Thermistorenketten und Drucksensoren instrumentiert. Die vierte Bohrung wurde für Deformationsmessungen vorbereitet. Ziel der Untersuchungen war es, den geologischen Aufbau sowie die Permafrostausprägungen des Untergrundes zu erheben. Die Untersuchungen sollten damit eine bessere Einordnung von bestehenden Messungen und Modellierungen (u.a., Geophysikalische Messungen "Spitze Stei", Messungen an der Permafroststation Doldenstock, Permafrostmodellierung SLF) ermöglichen und die Voraussetzungen für ein verbessertes Prozessverständnis schaffen.

2. Vorhandene Unterlagen

- [1] GEOTEST AG (2019): «Kandersteg, «Spitze Stei», Gefahrenmanagement, Ergebnisse und Auswertungen 2019», Bericht Nr. 1418139.2, Zollikofen.
- [2] Gamma Remote Sensing (2019): Kurzdokumentation der Messkampagne „bim Spitze Stei“ mit dem GAMMA Portable Radar Interferometer (GPRI), Präsentation, S. 24, Gümligen.
- [3] GEOTEST AG (2020): «Untersuchungskonzept Permafrost, Startsituation / Reko vom 17.01.2020», Aktennotiz, 24.01.2020, Zollikofen.
- [4] Kenner, R. and Noetzli, J. and Hoelzle, M. and Raetzo, H. and Phillips, M. (2019): Distinguishing ice-rich and ice-poor permafrost to map ground temperatures and ground ice occurrence in the Swiss Alps. The Cryosphere. 1925-1941.
- [5] CSD AG & SLF (2020): Zweitmeinung zu geologischem Modell, Szenarien und Wirkungsbereiche «Spitze Stei», Kandersteg, Bern. Bericht BR 09940.100, Liebefeld.
- [6] Hilbich C., Hauck C. (2019): Geophysikalische Untersuchungen im Gebiet des „Spitze Stei“, Berner Oberland, Juli 2019, Bericht, Oktober 2019, Departement Geowissenschaften Universität Fribourg, 09.10.2019, S. 21, Fribourg

3. Bohrstandorte und Instrumentierung

An den drei Standorten Westgrat, Gipfel und Zentrum (Abbildung 1, Tabelle 1) wurden vier destruktive Bohrungen (90 mm Durchmesser, 3° Neigung zur Vertikalen, Richtung Süd) mittels Imlochhammer abgeteuft. Aufgrund der Hochgebirgsverhältnisse mussten die Bohrungen mit einer Leichtbohrlafette ausgeführt werden. Das Ausspülen des Bohrgutes erfolgte mit Druckluft.

Die Standorte der Bohrungen wurden innerhalb der Felssackung strategisch gewählt, u.a. unter Berücksichtigung der erwarteten Permafrostverteilung sowie der erwarteten Lage der Gleitflächen ([2], [3]). Im zentralen Bereich der Sackung waren Bohrungen aus Sicherheitsgründen (Lawinen, Steinschlag) nicht möglich.

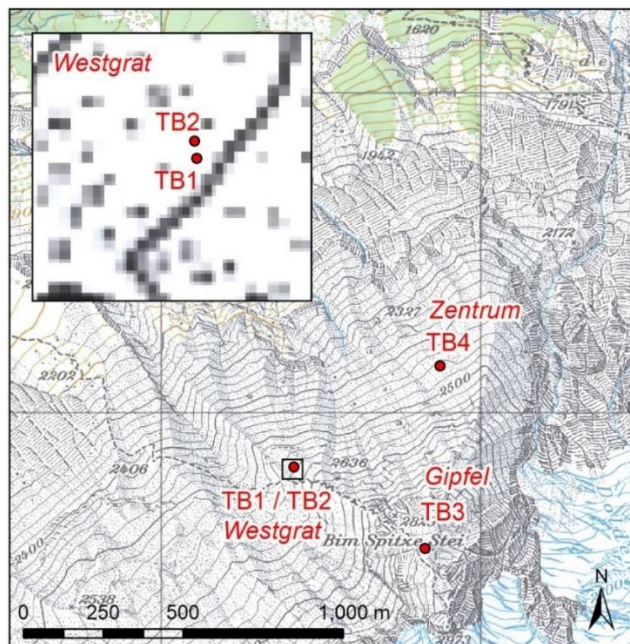


Abbildung 1: Bohrstandorte am "Spitze Stei". Der vergrößerte Kartenausschnitt zeigt die Lage der Bohrungen TB1 und TB2 am Westgrat.

Beim Standort Westgrat wurde ein Bohrloch für Deformationsmessungen mit Inklinometerrohren vorbereitet. Inklinometermessungen liefern hochaufgelöste, vertikale Deformationsprofile und zeigen damit das allgemeine Bewegungsmuster und insbesondere die Lage möglicher Abscherhorizonte an.

Je ein Bohrloch an den Standorten Westgrat, Gipfel und Zentrum wurde mit Thermistorenketten und Drucksensoren instrumentiert. Thermistoren erlauben die Ermittlung der Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen und geben damit Hinweise

auf die Existenz von Permafrost sowie Informationen zur Mächtigkeit und zum Auftauzeitpunkt der sommerlichen Auftauschicht (Active Layer). Drucksensoren erlauben die Ermittlung allfälliger Wasserstände in den Bohrlöchern. Details zur eingesetzten Instrumentierung sind in Anhang 1 zu finden.

Die Bohrungen wurden vor Ort von Geologen begleitet und dokumentiert. Alle Bohrlöcher wurden per Kamera befahren um Informationen zum Eisgehalt sowie dem geologischen Aufbau (Zerklüftung/Verwitterung, Schichtaufbau, Lage möglicher Gleitflächen/Abscherhorizonte) zu erhalten.

Die Bohrungen fanden im Winter statt, um das jährliche Zeitfenster mit den kleinsten Bewegungsraten zu nutzen und damit die Erfolgchancen der Bohrungen und die Sicherheit der Feldmannschaft zu erhöhen. Die Installation im Winter sollte zudem die Möglichkeit schaffen, die Erwärmung des Bodens sowie einen möglichen Anstieg des Wasserdruckes während der Frühlingsmonate zu erfassen.

Tabelle 1: Standort, Bohrtiefe und Instrumentierung der ausgeführten Tastbohrungen

Name	Standort Koordinaten	Bohrtiefe (geplant, erreicht, verrohrt/instrumentiert)	Instrumentierung
TB 1	<i>Westgrat</i> 2'621'420 / 1'147'820 2'562 m ü. M.	60 m, 46 m, 26 m	Inklinometerrohr
TB 2	<i>Westgrat</i> 2'621'420 / 1'147'830 2'560 m ü. M.	40 m, 45 m, 40 m	Thermistoren / Drucksensoren
TB 3	<i>Gipfel</i> 2'621'830 / 1'147'570 2'844 m ü. M.	40 m, 40.5 m, 30 m	Thermistoren / Drucksensoren
TB 4	<i>Zentrum</i> 2'621'880 / 1'148'140 2'462 m ü. M.	30 m, 41.5 m, 30 m	Thermistoren / Drucksensoren

3.1 Westgrat (TB 1 und TB 2)

Am Westgrat auf 2'560 m ü. M. (Abbildung 2) wurden zwischen dem 30. Januar und dem 8. Februar 2020 unmittelbar nebeneinander (ca. 10 m horizontaler Abstand) zwei Bohrungen mit Zieltiefen 40 und 60 m abgeteuft. Das 40 m Bohrloch war für Temperatur- und Druckmessungen vorgesehen; das 60 m Bohrloch für Deformationsmessungen.



Abbildung 2: Bohrstandort Westgrat (2'560 m ü. M.) unterhalb des "Spitze Steis". TB 1 und TB 2 wurden im Bereich der zwei Plattformen in der Bildmitte abgeteuft.

Die angestrebte Tiefe von 60 m konnte bei beiden Bohrlöchern nicht erreicht werden. Wegen kollabierenden Bohrlochwänden mussten die Bohrungen bei 45 bzw. 46 m abgebrochen werden. Bei Bohrloch TB 1 (vorgesehen für Deformationsmessungen) konnten die Inklinometerrohre wegen einer Kluft nur bis 26 m Tiefe eingebaut werden. Bei TB 2 konnte die Verrohrung bis 40 m Tiefe eingebaut werden. TB 2 wurde mit einer 40 m Thermistorenkette mit 16 Messknoten bestückt (Tabelle 2). Drucksensoren wurden in 20, 30 und 40 m Tiefe installiert.

Tabelle 2: Messtiefe der eingebauten Thermistoren und Drucksensoren

Name	Messtiefe Thermistoren (m)	Messtiefe Drucksensoren (m)
TB 2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20, 25, 30, 35, 40	20, 30, 40
TB 3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 21, 24, 27, 30	10, 20, 30
TB 4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 17, 20, 22.5, 25, 27.5, 30	10, 20, 30

3.2 Gipfel (TB 3)

Beim Gipfelstandort auf 2'845 m ü. M. (Abbildung 3) wurde am 21. Februar 2020 eine Bohrung mit Zieltiefe 40 m abgeteuft. Die Zieltiefe konnte erreicht werden. Der Einbau der Schutzverrohrung war nur bis 30 m Tiefe möglich. TB 2 wurde mit einer 30 m Thermistorenkette bestückt (Tabelle 2). Drucksensoren wurden in 10, 20 und 30 m Tiefe installiert.



Abbildung 3: Bohrstandort Gipfel (TB 3, 2'845 m ü. M.) oberhalb des "Spitze Steis". TB 3 wurde ca. 5 m bergseits des Schutzcontainers (im Bereich der Person mit dem orangen Overall) abgeteuft.

3.3 Zentrum (TB 4)

Beim Zentrumsstandort auf 2'462 m ü. M. wurde zwischen dem 24. und 25. Februar 2020 eine Bohrung mit Zieltiefe 40 m abgeteuft (Abbildung 4). Obwohl die

Zieltiefe erreicht werden konnte, war der Einbau der Verrohrung nur bis 30 m Tiefe möglich. Die ursprünglich 40 m lange Thermistorenkette wurde so angepasst, dass die zwei untersten Sensoren (ursprünglich auf 35 und 40 m Tiefe) auf 27.5 und 22.5 m zu liegen kamen (Tabelle 2). Die Kabel der Drucksensoren (ursprünglich 20, 30 und 40 m lang) wurden gekürzt und in 10, 20 und 30 m Tiefe installiert.



Abbildung 4: (Oben) Bohrstandort Zentrum (TB 4, 2'462 m ü. M.) im Bereich des roten Pfeiles.
(Unten) Nahaufnahme des Bohrplatzes.

4. Untersuchungsresultate

4.1 Bohraufnahmen

4.1.1 Herausforderungen

Die geologische Aufnahme der Bohrungen am "Spitze Stei" wurde durch mehrere Umstände erschwert. Unterhalb 8–16 m u.T. wurde die zum Ausspülen des Bohrgutes genutzte Druckluft mehrheitlich durch Hohlräume/Klüfte abgeführt. Das Bohrgut wurde daher nur oberflächennah ausgetragen, was ein systematisches Beprobieren des Materials verunmöglichte.

Die ausgeprägte Zerklüftung/Zerrüttung des Untergrundes erschwerte zudem die Bohrlochkamerabefahrungen. Die Kamera blieb in den zerklüfteten Abschnitten wiederholt stecken, so dass Inclinometerrohre eingebaut werden mussten, um die entsprechenden Abschnitte zu überbrücken. Dieses Vorgehen führte zu unvollständigen Bohrlochaufnahmen. Da die obersten 5–8 Meter der Bohrlöcher direkt mit Stahlrohren ausgebaut wurden (vgl. Anhang 1) und die Inclinometerrohre teilweise nicht bis zum Bohrlochende eingeführt werden konnten, wurden ganze Bohrlochabschnitte nicht mit der Kamera dokumentiert. Abschnitte mit Bohrlochaufnahmen sind in den Bohrprofilen im Anhang 2 mit roten Linien markiert.

Die Bohrungen und der Einbau der Verrohrung waren generell schwierig. In der Regel konnte die Verrohrung erst nach mehreren Nachbohrungen bis zu der in Tabelle 1 angegebenen Tiefe eingebaut werden. In mehreren Fällen war das Bohrloch durch hereingefallene Steine blockiert.

4.1.2 Westgrat (TB 1 und TB 2)

Der geologische Aufbau der nur ca. 10 m voneinander abgeteuften Bohrlöchern TB 1 und TB 2 war sehr ähnlich (vgl. Bohrprofile in Anhang 2). Von der Oberfläche bis in ca. 28–30 m Tiefe wurde Kalk bzw. mergeliger Kalk der Öhrlifformation vorgefunden. Homogener, kompakter Fels wechselte sich mit leicht bis stark aufgelockertem/zerrüttetem Fels ab (vgl. Bohrlochaufnahmen in Anhang 3). Die Bohrlochaufnahmen dokumentierten mehrere Klüfte von primär vertikaler Orientierung. Der Abschnitt war generell trocken; Eis war nicht erkennbar.

Ab ca. 30 m Tiefe dominierten Kalkmergel bzw. Mergel der Öhrlifformation. Das Bohrloch war teilweise vernässt und vereinzelt war auch Kluffteis sichtbar (vgl. Bohrlochaufnahmen im Anhang 3). Vernässung und Kluffeis werden als Hinweis

auf Permafrost interpretiert (bei leicht negativen Bodentemperaturen ist mit fließendem Wasser zu rechnen; die Vernässung dürfte zumindest teilweise auch durch die Bohraktivität hervorgerufen worden sein). Generell war der geologische Aufbau unterhalb 30 m Tiefe instabil. Ab ca. 40 m Tiefe kollabierten die Bohrlöchwände nach Rückzug des Bohrgestänges sofort.

Die ausgeprägte Zerrüttung des Felsens im Bereich des kompakten Kalkes weist auf eine starke Beanspruchung durch Bewegungen hin. Im weicheren Material unterhalb ca. 30 m Tiefe waren die Spuren der Bewegungen dagegen nicht mehr auffällig. So konnten in den entsprechenden Bohrlöchaufnahmen (Anhang 3) keine Gleitflächen/Scherzonen festgestellt werden. Angesichts der reduzierten Stabilität des durchbohrten Materials schliessen wir (sekundäre) Gleitflächen in diesem weicheren Bereich nicht aus. In der gesamten labilen Abfolge kann es zudem zu lokalen differenziellen Kriechbewegungen kommen.

4.1.3 Gipfel (TB 3)

TB 3 befindet sich in den Kalken bzw. mergeligen Kalken der Öhrlifformation (vgl. Bohrlöchprofil in Anhang 3). Im oberflächennahen Gestein (Lockermaterial aus verwittertem Kalk, darunter anstehender Kalk) durchlöcherterte die Bohrung mehrere grosse bis sehr grosse Hohlräume (vgl. Bohrlöchaufnahmen in Anhang 3). Durch die Hohlräume entwich die zum Ausspülen des Bohrgutes vorgesehene Druckluft; entsprechend wurde bereits ab 8 m Bohrlöchtiefe kein Bohrgut mehr an die Oberfläche ausgetragen.

Bis ca. 23 m Tiefe befand sich das Bohrlöch im Bereich der Kalke bzw. mergeligen Kalke; unterhalb ca. 23 m Tiefe war das durchbohrte Material weicher. Bei den weicheren Schichten handelt es sich mutmasslich um Kalkmergel bzw. Mergel der Öhrlifformation. Aufgrund der fehlenden Bohrlöchaufnahmen unterhalb 18 m und des fehlenden Bohrmaterialaustrages unterhalb 8 m ist der Typ des durchbohrten Materials jedoch nicht abschliessend zu bestimmen.

Wegen der kollabierenden Bohrlöchwand musste die Bohrung in 40.5 m Tiefe abgebrochen werden. Aufgrund von Bohrlöchinstabilitäten war der Rückzug des Bohrgestänges auf den untersten ca. 10 m kompliziert und langsam.

Der oberflächennahe Bohrmaterialaustrag war generell trocken und eisfrei. Klufteis konnte auf dem mit der Kamera befahrenen Abschnitt (7–18 m) allenfalls in ca. 9 m Tiefe festgestellt werden (vgl. Bohrlöchaufnahmen in Anhang 3). Ansonsten waren die Hohlräume generell offen und eisfrei. Trotz abschnittsweiser Vernässung war

das Bohrloch mehrheitlich trocken. Damit kann eisreicher Permafrost im Bereich des Bohrloches ausgeschlossen werden.

Gleitflächen/Scherzonen konnten in den beschränkt vorliegenden Bohrlöchaufnahmen nicht festgestellt werden. Wie in TB 1 und 2 weist die Zerrüttung des oberflächennahen Kalkgesteins auf eine erhebliche Beanspruchung durch Bewegungen hin.

4.1.4 Zentrum (TB 4)

TB 4 wurde im oberen Bereich eines kleinen Blockgletschers abgeteuf. Das Gelände beim Bohrstandort war mit teilweise grossen Sturzblöcken aus Kalk übersät (Volumina $\gg 1 \text{ m}^3$, vgl. Abbildung 4). Die Blöcke stammen aus dem steilen Gelände oberhalb des Bohrstandortes, in welchem Öhrlikalk ansteht (Abbildung 4). Grosse Sturzblöcke aus Kalk wurden auch in oberflächennahen Schichten durchbohrt (vgl. Bohrlochprofil in Anhang 3). Diese Blöcke waren eingebettet zwischen kleineren Blöcken und Steinen, die mutmasslich ebenfalls durch gravitative Prozesse in den Bereich des Blockgletschers transportiert wurden.

Variabler Bohrfortschritt bis in ca. 17 m Tiefe deutete darauf hin, dass Lockermaterial und dazwischenliegende (eisgefüllte) Hohlräume in diesem Abschnitt dominieren. Ab ca. 17 m Tiefe war der Bohrfortschritt gleichmässiger und rascher, was auf homogeneres und ev. weiches Material hindeutet. Wegen dem fehlenden Bohrgutaustrag unterhalb 13 m und den fehlenden Bohrlöchaufnahmen unterhalb 12 m konnten die Beobachtungen nicht weiter konkretisiert werden. Mutmasslich befindet sich in 17 m Tiefe die Untergrenze des Blockgletschers. Der Übergang zu den anstehenden Mergeln und Tonmergeln/Tonschiefer der Zementsteinformation dürfte auch mit diesem Tiefenbereich zusammenfallen.

Nicht unerwartet war der Untergrund deutlich eisreicher als bei den Standorten Westgrat und Gipfel. Das bis 13 m Tiefe ausgetragene Bohrmaterial entsprach einer mörtelähnlichen Mischung mit hohem Wasseranteil; teilweise wurden noch gefrorene Eissplinter ausgetragen. Hohlräume zwischen den Blöcken und Steinen waren mehrheitlich mit Eis gefüllt, teilweise aber auch offen (vgl. Bohrlöchaufnahmen in Anhang 3). Gleitflächen/Scherzonen konnten in den nur für Abschnitt 8–12 m vorliegenden Bohrlöchaufnahmen nicht festgestellt werden.

4.2 Temperaturmessungen (TB 2–TB 4)

Zum Zeitpunkt der Datenauswertung für den Bericht waren die Temperaturzeitreihen ca. 2–3 Monate lang. Bei TB 2 (Westgrat) liegen Temperaturmessungen ab dem 7. Februar 2020, bei TB 3 (Gipfel) ab dem 27. Februar und bei TB 4 ab dem 12. März vor. Die Zeitreihen umfassen damit den Spätwinter sowie den Beginn der Auftauperiode im Frühling.

Abbildung 5 zeigt die an den drei Standorten gemessenen vertikalen Temperaturprofile für den 1. April 2020 (Ende Winter, vor dem Einsetzen der Auftauperiode). Gipfel und Zentrumsstandort befinden sich unterhalb des Active Layers komplett im Permafrost. Beim Standort Westgrat wird der Permafrost ab 20 m Tiefe erreicht. Generell ist der Permafrost mit Temperaturen zwischen -1 und 0 Grad warm.

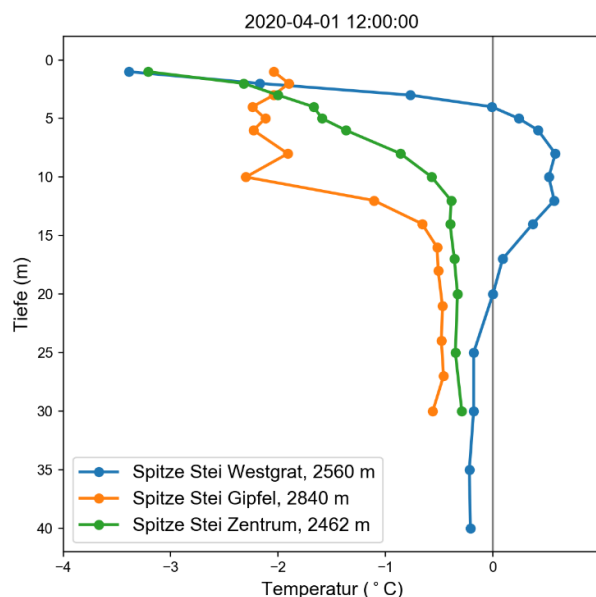


Abbildung 5: Am 1. April 2020 gemessene Temperaturprofile in den Bohrlöchern TB 2 (Westgrat), TB 3 (Gipfel) und TB 4 (Zentrum). Bei TB 2 wird Permafrost erst ab 20 m Tiefe erreicht. Die gefrorenen oberflächennahen Schichten gehören zur saisonalen Auftauschicht (Active Layer). Beim Gipfelstandort wird das Temperaturprofil im oberflächennahen Gestein mutmasslich durch Luftzirkulation beeinflusst.

Die vorliegenden Temperaturzeitreihen zeigen eine Erwärmung der obersten Bodenschichten ab Anfang April, als Folge der steigenden Lufttemperaturen und der einsetzenden Schneeschmelze. Um den 20. April (Abbildung 6) verläuft der Temperaturanstieg des oberflächennahen Untergrundes sehr rasch, mutmasslich durch

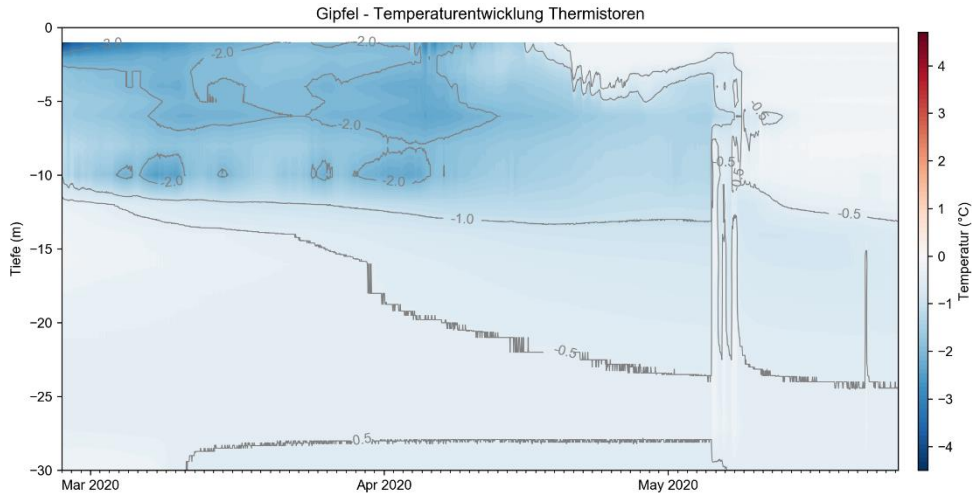


Abbildung 7: Zeitliche Entwicklung der Bodentemperaturen bei Bohrloch TB 3.

Bei TB 4 (Abbildung 8) ist Mitte April ebenfalls eine starke oberflächennahe Erwärmung des Untergrundes festzustellen. Im Vergleich zu den beiden anderen Bohrlochern reagiert der Thermistor in 1 m Tiefe umgehend auf Temperaturänderungen und ist auch nicht vom Zero Curtain Effekt betroffen. Dies ist damit zu erklären, dass der entsprechende Thermistor von einem grossen (eisfreien) Kalkblock umgeben ist.

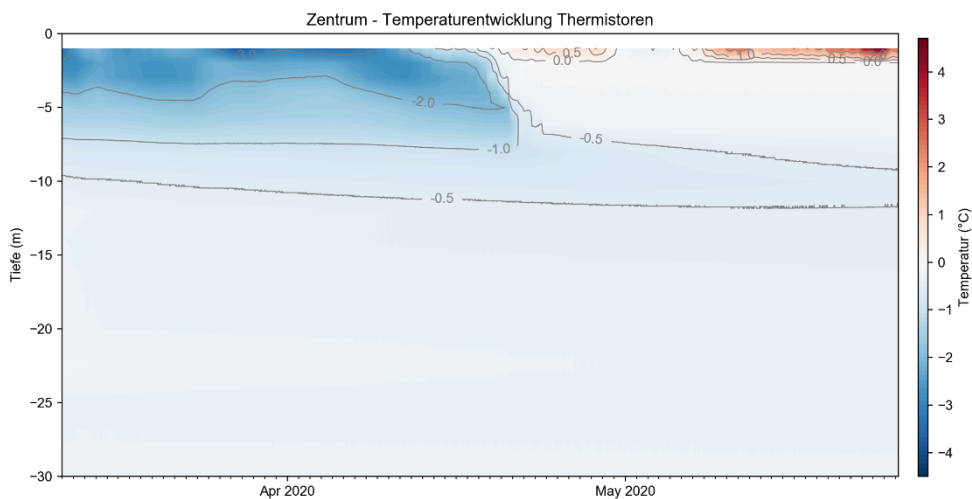


Abbildung 8: Zeitliche Entwicklung der Bodentemperaturen bei Bohrloch TB 4.

Detailliertere Analysen und Interpretationen der Temperaturzeitreihen erfolgen, sobald diese einen längeren Zeitraum abdecken. Bis Ende 2020 kann z.B. der Zusammenhang zwischen den Bohrlochtemperaturen und den

Rutschgeschwindigkeiten am "Spitze Stei" besser quantifiziert werden. Zu diesem Zeitpunkt können auch Parameter wie Active Layer Mächtigkeit abgeschätzt werden.

4.3 Druckmessungen (TB 2–TB 4)

Die Druckmessungen decken den gleichen Zeitraum ab wie die Temperaturmessungen. Bis zum Zeitpunkt der Analyse wurde in keinem der Bohrlöcher erhöhte Wasserdrücke gemessen. Es ist daher davon auszugehen, dass sich in den Bohrlöchern bisher kein stehendes Wasser befindet.

4.4 Deformationsmessungen Westgrat (TB 1)

Zum Zeitpunkt des vorliegenden Berichtes lagen vier Messungen des 26 m langen Inklinometerrohres vor (Nullmessung und drei Folgemessungen, Tabelle 3). Bei den Messungen wurden nur minimale Deformationen festgestellt (vgl. Anhang 4). Tatsächlich liegen die gemessenen Deformationen weitgehend innerhalb des Unsicherheitsbereiches der Messungen (ca. 5–10 mm).

Während der 55 Tage zwischen der Referenzmessung und der 3. Folgemessung betrug die Deformation rund 4 mm an der Geländeoberfläche. Die beim Reflektor 54 unmittelbar oberhalb von TB 1 gemessene Verschiebung betrug über den gleichen Zeitraum ca. 83 mm und war damit um rund Faktor 20 höher. Die Messungen belegen damit, dass sich die Hauptgleitfläche unterhalb 26 m befindet. Das Inklinometerrohr bewegt sich entsprechend weitgehend mit der Rutschmasse.

Eine detailliertere Analyse der Inklinometerresultate erfolgt, sobald die entsprechenden Messungen über einen längeren Zeitraum vorliegen. Um signifikante Bewegungen zu messen, sollte die Zeitdifferenz zwischen den Messungen auf über 30 Tage erhöht werden, unter Berücksichtigung der Geschwindigkeitszunahme in den Sommermonaten. Da die Tiefe der erwarteten Hauptgleitfläche bei den Bohrungen nicht erreicht werden konnte, ist zu diskutieren, ob schlussendlich alle 10 geplanten Messungen vorzunehmen sind.

Tabelle 3: Daten der bisher ausgeführten Inclinometermessungen

Datum	Messung	Zeitdifferenz (Tage)
08.02.2020	Referenz	-
20.02.2020	Folgemessung 1	12
11.03.2020	Folgemessung 2	20
03.04.2020	Folgemessung 3	23



Abbildung 9: Inclinometermessung bei TB 1. Ursprünglich waren Messungen über 60 m geplant, um Verschiebungen entlang der mutmasslichen Hauptgleitfläche zu bestimmen. Das Inclinometerrohr konnte jedoch nur bis in 26 m Tiefe abgeteuft werden.

4.5 Vergleich mit weiteren Datensätzen/Studien

4.5.1 Permafrostkarte SLF

Der Vergleich der vorliegenden Untersuchungsergebnisse mit der modellierten Permafrostkarte des SLF ([4], [5], Abbildung 10) zeigt Folgendes:

- Gemäss der Modellierung befindet sich der Gipfelbereich im warmen, eisarmen Permafrost und der Zentrumsstandort im warmen, eisreichen Permafrost. Diese Kategorisierung wurde von unseren Temperaturmessungen und Bohrlochaufnahmen bestätigt.
- Der am Westgrat als möglich taxierte eisreiche Permafrost wurde bei den Bohrungen nicht angetroffen, zumindest nicht oberflächennah. Auch die Temperaturmessungen deuten nicht auf Permafrost in den obersten 20 m hin. Der unter 20 m Tiefe gelegene Permafrost (wahrscheinlich reliktscher Natur) dürfte generell eisarm sein.

Generell ist die Übereinstimmung mit den modellierten Permafrostkategorien gut, was eine flächenhafte Anwendung der Modellresultate im Rahmen des Projektes stützt.

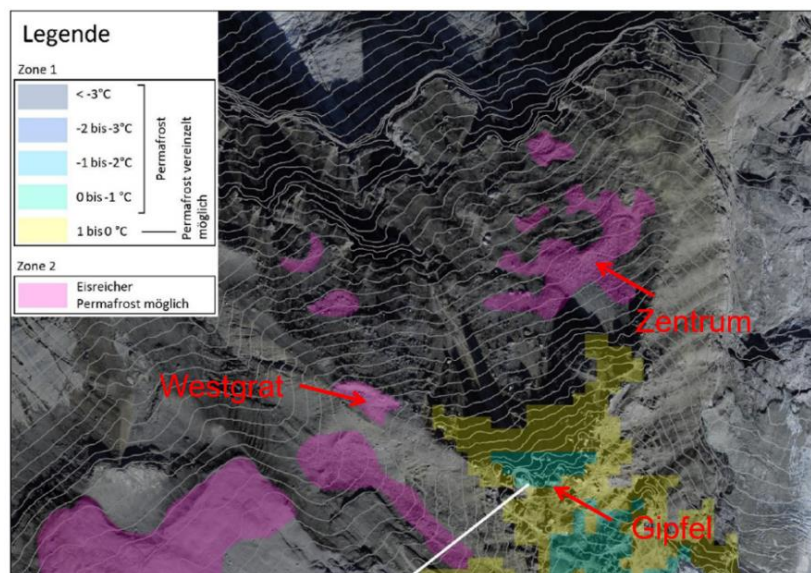


Abbildung 10: Bohrstandorte überlagert über die modifizierte SLF Permafrostkarte [5]. Die Bohrstandorte Westgrat und Zentrum befinden sich in Bereichen, in denen eisreicher Permafrost möglich ist. Der Gipfelstandort befindet sich in einem Bereich, wo warmer Permafrost erwartet wird.

4.5.2 Geoelektrik Uni Fribourg

Der Vergleich unserer Untersuchungsergebnisse mit den Geoelektrikuntersuchungen der Uni Fribourg [6] zeigt Folgendes:

- Gemäss den Geoelektrikuntersuchungen liegt der Übergang zwischen den Kalken und Mergeln im Gipfelbereich in ca. 80 m Tiefe und im Bereich des Westgrates in ca. 50 m Tiefe. Unsere Bohrungen deuten darauf hin, dass sich Mergel generell näher an der Oberfläche befinden, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass es sich bei den durchbohrten Mergelschichten um Zwischenschichten im Kalk handelt (Mergelschichten als Verwitterungsprodukt).
- Gemäss den Geoelektrikuntersuchungen besteht im Bereich der Felspfeiler um den „Spitze Stei“ mit hoher Wahrscheinlichkeit Permafrost. Laut der Studie ist auch mit eisgefüllten Klüften zu rechnen. Unsere Untersuchungen bestätigen die Existenz von Permafrost, wobei eisgefüllte Klüfte in der Bohrung kaum angetroffen wurden, was als Hinweis auf eisarmen Permafrost interpretiert wird.
- Die Geoelektrikmessungen geben Hinweise auf tiefgründigen, eisreichen Permafrost im Bereich des Blockgletschers, was durch die Bohrungen bestätigt wird.
- Die mit der Geoelektrik bestimmte minimale und maximale Permafrostverbreitung entlang des Westgrates zeigt keinen Permafrost bzw. eisarmen Permafrost nahe der Oberfläche an (Abbildung 11). Unsere Untersuchungen bei TB 2 zeigen oberflächennah keinen Permafrost, dafür aber Permafrost ab 20 m Tiefe.

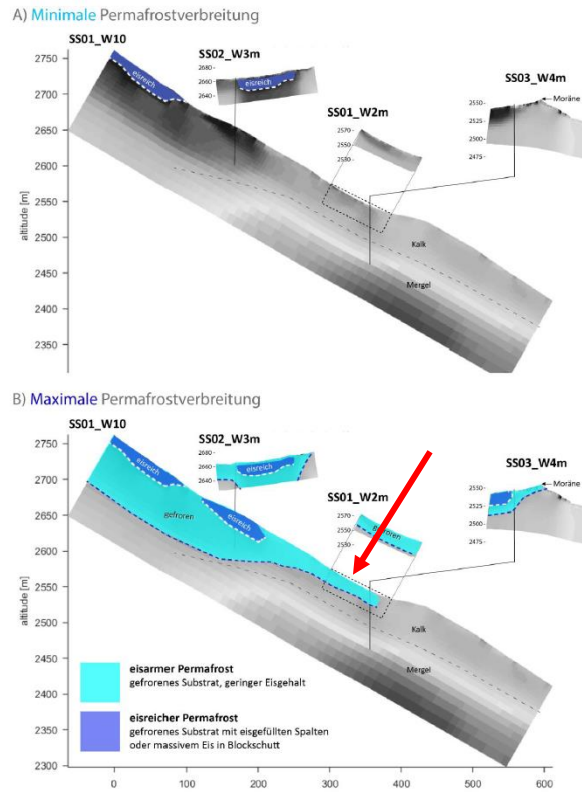


Abbildung 11: Schematische Darstellung der minimalen und maximalen Permafrostverbreitung entlang des Westgrates gemäss Interpretation der ERT Daten (Bildquelle: Hilbich und Hauck, Uni Fribourg [6]). TB 2 befindet sich ungefähr im Bereich des roten Pfeiles.

4.5.3 Station Doldenstock

Abbildung 12 vergleicht die an der Station Doldenstock (Bohrloch Nord) gemessenen Temperaturen mit den in den Bohrlöchern Westgrat, Gipfel und Zentrum gemessenen Temperaturen. Die Unterschiede sind relativ markant, im Falle der Station Westgrat trotz identischer Stationshöhe. Im letzteren Fall sind die Unterschiede mutmasslich auf den höheren Eisgehalt des Untergrundes am Standort Doldenstock zurückzuführen. Die Station Doldenstock liegt auf einem Blockgletscher mit einem vergleichsweise hohen Eisanteil, wobei ein hoher Eisanteil der langfristigen Erwärmung des Untergrundes entgegenwirkt. Die Temperaturen zwischen den Blockgletscherstandorten Doldenstock und Zentrum (TB 4) sind ab 10 Tiefe fast identisch (Abbildung 12). Oberhalb 10 m sind die beim Zentrumsstandort gemessenen Temperatur tiefer, was u.a. auf die geringere Schneebedeckung beim Standort Zentrum zurückzuführen sein dürfte.

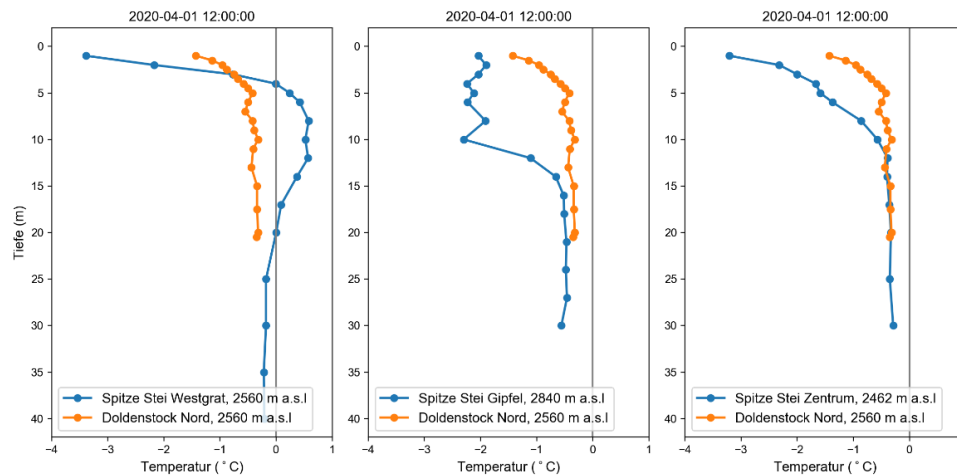


Abbildung 12: Anfang April 2020 gemessene Temperaturen an den Standorten TB 2 Westgrat (links), TB 3 Gipfel (Mitte) sowie TB 4 Zentrum (rechts). Die an der Station Doldenstock gemessenen Temperaturen sind in jeder Figur abgebildet.

Die initiale Erwärmung der obersten Bodenschichten fand am Doldenstock am 13. April statt und damit etwas später als bei den Standorten Westgrat und Zentrum (5. April). Diese verzögerte Erwärmung dürfte ebenfalls auf die mächtigere Schneedecke am Doldenstock zurückzuführen sein. Der Gipfelstandort kann nicht direkt verglichen werden, da der Schnee bei Unterhaltsarbeiten an der Station Anfang April entfernt wurde.

4.5.4 Geologisches Modell

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse und das geologische Modell der GEO-TEST AG [1] stimmen mehrheitlich überein. Unsere Untersuchungen bestätigten insbesondere:

- Dass die Rutschmasse nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Untergrund durchzogen ist von grossen Klüften und Hohlräumen.
- Dass sich unterhalb der oberflächennahen kalkigen Schichten weichere, mergeligere Schichten befinden, die als Gleitflächen dienen können.
- Dass die Gleitflächen nicht oberflächennah, sondern mindestens ca. 30–40 m (Westgrat) bzw. 20–40 m (Gipfel, Zentrum) unter Terrain liegen.

Die Untersuchungen zeigen weiter auf, dass sich ausserhalb des Blockgletschers eher weniger Eis im Rutschkörper befindet als ursprünglich erwartet.

5. Abschliessende Bemerkungen

Die Bohrkampagne konnte trotz grossen logistischen und technischen Herausforderungen erfolgreich durchgeführt werden. Die Installation der Messinstrumente verlief besonders erfreulich. Die Instrumente liefern seit mehreren Monaten ununterbrochene Temperatur- und Druckzeitreihen, was das Systemverständnis verbessert und das Gefahrenmanagement vereinfacht. Die Bohrlochaufnahmen waren etwas weniger umfangreich als erhofft, gerade bei TB 3 und TB 4. Weil auch der Bohrmaterialaustrag weitgehend ausblieb, wurde die detaillierte geologische Aufnahme des Untergrundes erschwert. Die vorhandenen Beobachtungen erlaubten trotzdem wichtige Rückschlüsse, z.B. dass die Rutschmasse durchzogen ist von grossen Klüften und Hohlräumen oder dass sich ausserhalb des Blockgletschers relativ wenig Eis im Rutschkörper befindet. Der letzte Punkt dient als Argument für einen begrenzten Wassergehalt und damit gegen starke Verflüssigungen beim primären Sturzprozess. Obwohl das Inclinometerrohr bei TB 1 nicht bis zur Zieltiefe von 60 m abgeteuft werden konnte (und damit die erwartete Gleitfläche nicht durchbohrt wurde), konnten dank der bisherigen Inclinometermessungen wichtige Aussagen gemacht werden. So ist bestätigt, dass die Hauptgleitfläche beim Westgrat unter 26 m Tiefe liegt. Dieses Resultat stützt wiederum Volumenszenarien für den Sturzprozess, welche im Rahmen des Gefahrenmanagements erstellt wurden.

Bei der Evaluation des Bohrprojektes wurde festgehalten, dass die Lebensdauer einzelner Instrumente bzw. ganzer Bohrlochinstrumentierungen aufgrund der starken Rutschbewegungen nur wenige Monate betragen könnte. Obwohl bisher noch keine Instrumentenausfälle zu verzeichnen sind, ist diese Einschätzung weiterhin gültig. Da aus den Bohrungen wichtige Erkenntnisse zum Aufbau des Untergrundes gewonnen werden konnten und da die bisher erhobenen Messdaten zu einem besseren Verständnis der Wasser-, Temperatur- und Deformationsverhältnisse beigetragen haben, ist das Projekt bereits zum heutigen Zeitpunkt ein Erfolg, was die getätigten Investitionen rechtfertigt.

Anhang 1 Zusatzinformationen Instrumentierung

Verrohrung

Die Bohrungen wurden oberflächennah (in den obersten 5–8 m) mit 114 mm Stahlrohren ausgebaut, um einem Nachbrechen der Bohrlochwand im Lockermaterial vorzubeugen. Zusätzlich wurden die Bohrungen so tief wie möglich mit Inklinometerrohren ausgestattet. Hierzu wurde der Inklinometerrohrtyp RC 70 (Terradata AG) mit einem Innendurchmesser von 70 mm verbaut. Das System besteht aus 3 m langen zusammensteckbaren Elementen.

Im für Deformationsmessungen vorgesehenen Bohrloch TB1 wurde das Inklinometerrohr gegen unten abgeschlossen und abgedichtet. Zwischen Bohrlochwand (90 mm Durchmesser) und Inklinometerrohr (70 mm Durchmesser) wurde trockener Sand eingefüllt.

Im Falle der mit Drucksensoren und Thermistoren bestückten Bohrungen dienten die eingebauten RC 70 Inklinometerrohre als Schutzrohre. Der Raum zwischen dem 90 mm Bohrloch und dem 70 mm Schutzrohr wurde mit trockenem Sand eingefüllt. Ausnahme war der Gipfelstandort (TB 3), wo aus zeitlichen Gründen kein Sand eingefüllt werden konnte. Das Schutzrohr wurde nicht verfüllt und am unteren Ende offen belassen. Das unterste Element der Verrohrung (unterste 3 m) wurde mit Schlitzfenstern versehen, um den Eintritt von Umgebungswasser zusätzlich zu erleichtern. Bei Bohrung TB 3 wurde die Verrohrung aus zeitlichen Gründen nicht geschlitzt.

Thermistorenketten

Es wurden Thermistorenketten der Firma Terratransfer verbaut. Die Ketten bestehen aus 16 an vordefinierten Tiefen wasserdicht eingeschweissten Messknoten. Datenspeicherung und Datentransfer erfolgen via Logger mit Anbindung ans Mobilfunknetz.

Die Messknoten der Thermistorenketten sind unabhängig voneinander mit dem Logger verbunden, so dass ein Abscheren von individuellen Knoten nicht zu einem kompletten Systemausfall führt.

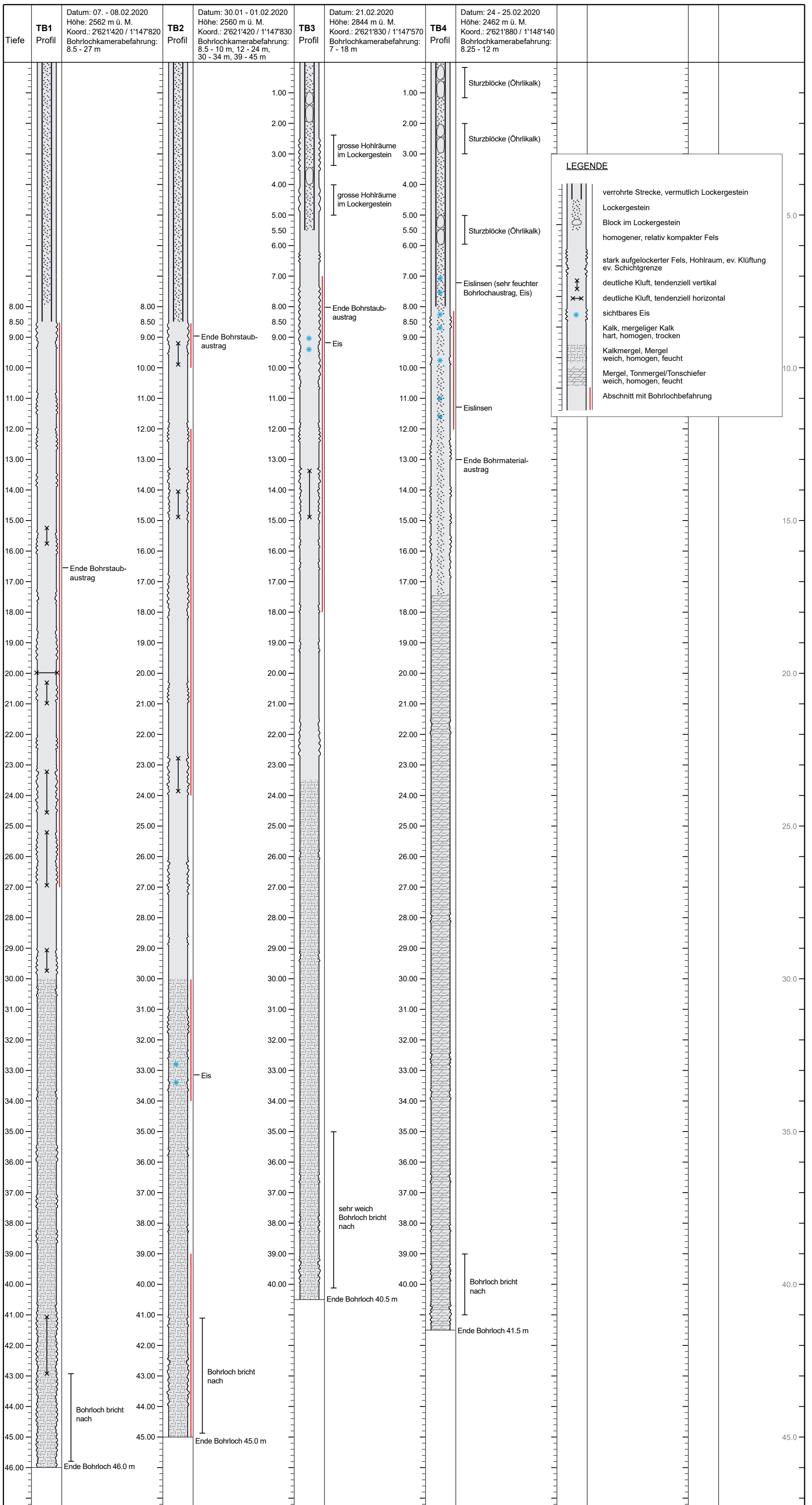
Drucksensoren

Zum Messen der Wasserdrücke wurden Piezometer der Firma Geokon (Typ 4500) eingebaut. Da die Drucksensoren nicht belüftet sind, müssen die Daten für Änderungen des Umgebungsdruckes kompensiert werden. Zu diesem Zweck wurde bei TB 2 ausserhalb des Bohrloches ein Barometer installiert.

Bei jedem Bohrloch wurde ein System mit dreifach redundanten Drucksensoren eingebaut, um den Ausfall einzelner Sensoren infolge Abscherung aufzufangen.

Anhang 2 Bohrlochprofile

Objekt : Spitze Stei, Permafrostuntersuchungen Tastbohrungen TB 1 - 4 Massstab 1:100	Auftrag Nr. : 1418139.4 Plan Nr. : 1418139.4_TB1-4_20	GEOTEST GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE GEOTEST AG T + 41 (0)31 910 01 01 BERNSTRASSE 165 F + 41 (0)31 910 01 00 CH-3052 ZOLLIKOFEN zollikofen@geotest.ch www.geotest.ch
	Ausführungsdatum : 30.01. - 25.02.2020 Aufgenommen : C. Kienholz	
	Unternehmung : Gasser AG Gezeichnet : Sw	
	Bohrmeister : Alex Jaggi Geprüft : Kic	
	Bohrmethode : Imlochhammer Format : A3	
Durchmesser : 90 mm		



Anhang 3 Aufnahmen Bohrlochkamera

Aufnahmen TB 1



Abbildung 1: Homogener, kompakter Kalkfels.



Abbildung 2: Stark aufgelockerter/zerrütteter Kalkfels. Die mit Bohrmaterial bedeckten anstehenden Steine und Blöcke sind z.T. lose.



Abbildung 3: Kompakter Kalkfels mit horizontaler und vertikaler Klüftung.



Abbildung 4: Vertikale Kluft im ansonsten kompakten Kalkstein. Der lose Gesteinskörper hat Steingröße (zum Vergleich: das Bohrloch hat einen Durchmesser von 90 mm).



Abbildung 5: Vertikale Kluft im kompakten Kalkstein.



Abbildung 6: Grosse Kluft im Kalksteinbereich. Die Kluft lenkte den Bohrer so weit ab, dass das Bohrloch mit den Inklinometerrohren bzw. der Kamera nicht mehr erreicht wurde.

Aufnahmen TB 2

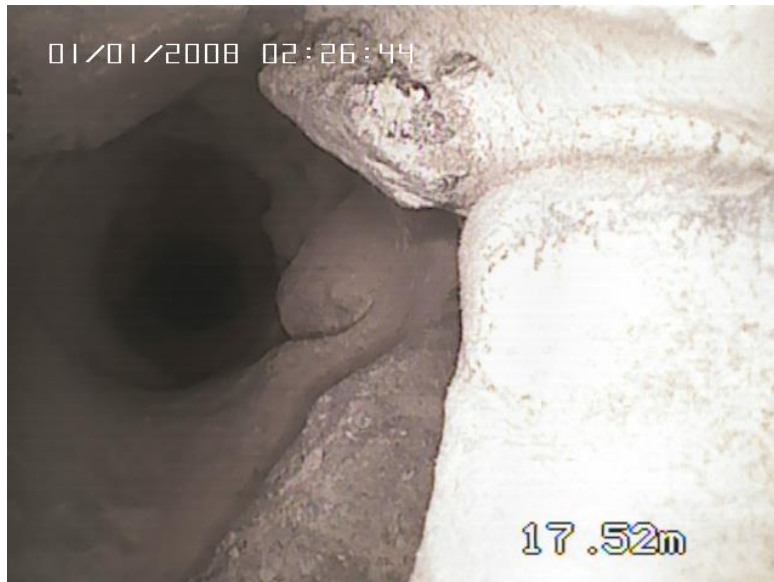


Abbildung 7: Aufgelockerter Kalkfels ohne klar ersichtliche Klufflächen



Abbildung 8: Mit Bohrmaterial verfüllte vertikale Kluft. Ein herausgefallener Stein blockiert das Bohrloch, was eine Nachbohrung nötig machte.

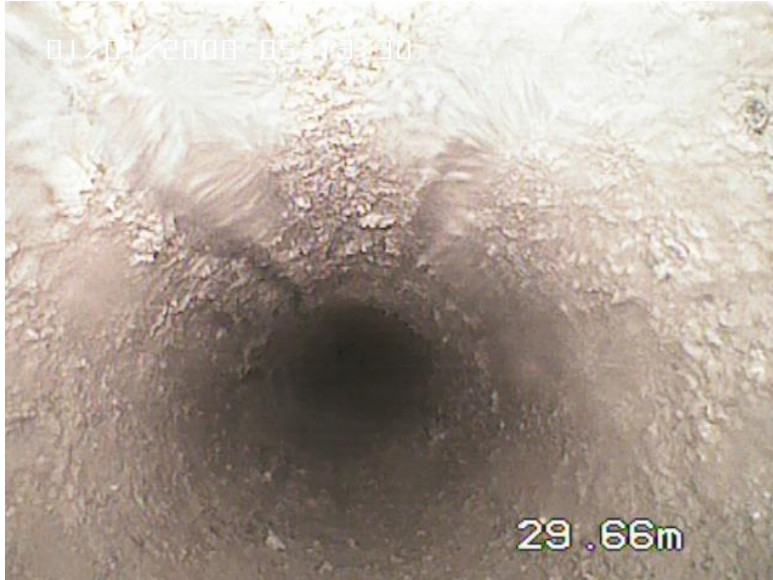


Abbildung 9: Homogenes, weiches und feuchtes Mergelgestein.



Abbildung 10: Eislinse im mergeligen Substrat.

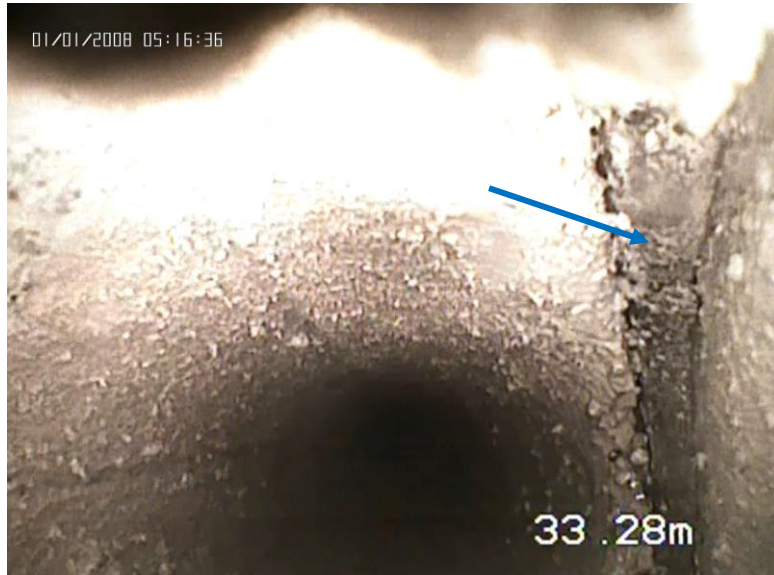


Abbildung 11: Eislinse im mergeligen Substrat.



Abbildung 12: Mit Tiefe zunehmend weicherer und feuchteres Mergelsubstrat.



Abbildung 13: Weiches und feuchtes Mergelsubstrat, rasch nachbrechend.



Abbildung 14: Sehr weiches, mergeliges Material. Nachbrechendes Material verhinderte ein Weiterbohren.

Aufnahmen TB 3

Bohrlochaufnahmen konnten bei TB 3 nur für den Bereich 7–18 m erstellt werden.

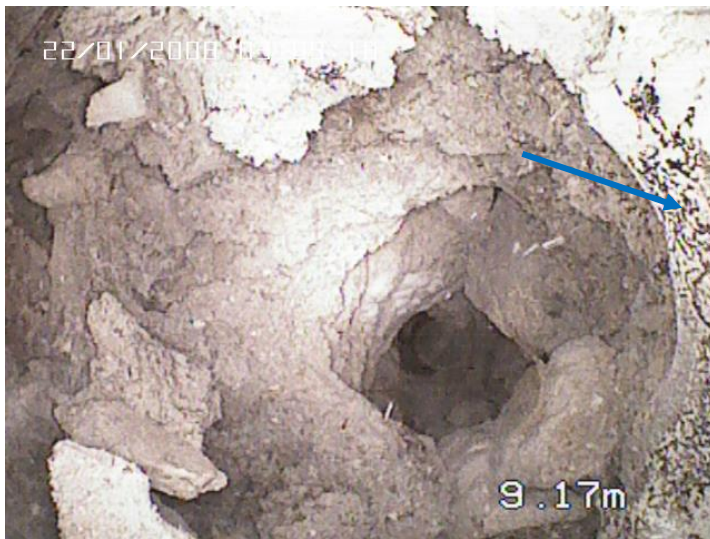


Abbildung 15: Hohlraum im stark zerrütteten Öhrlikalk. Trotz der Bohrmaterialablagerungen ist im rechten Bildbereich möglicherweise eine Eislinse sichtbar.



Abbildung 16: Vertikale Kluft. Das auf der Bohrlochwand abgelagerte Material ist in diesem Abschnitt vernässt.



Abbildung 17: Grosse Kluft im Kalkgestein in 18 m Tiefe.

Aufnahmen TB 4

Bei TB 4 konnten insgesamt nur vier Meter des ca. 40 m tiefen Bohrloches mit der Kamera befahren werden (8–12 m Tiefe). Im Bereich 12–13 m blieb die Kamera in einem Hohlraum stecken. Obwohl der Hohlraum mit Inklinometerrohren überbrückt werden konnte, wurde die Kamerabefahrung nicht fortgeführt, da dem kompletten Einbau der Verrohrung Priorität eingeräumt werden musste.

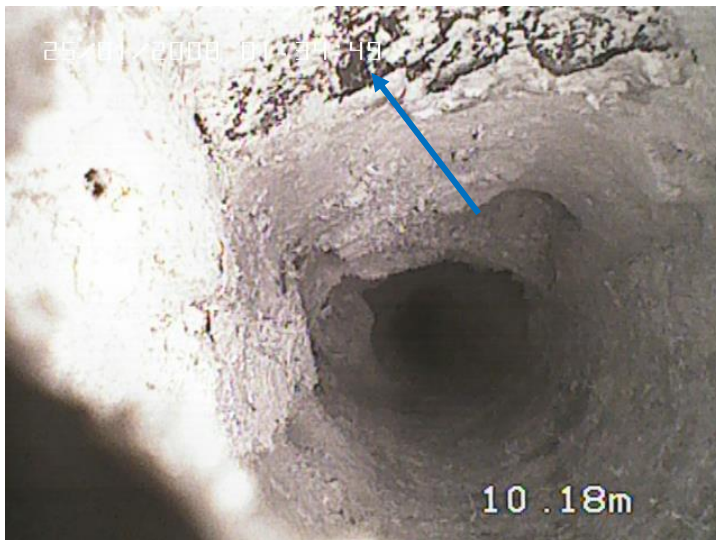


Abbildung 18: Massive Eislinse zwischen Kalkblöcken und Steinen. Der Bohrmaterialaustag wurde entlang der Bohrlochwände abgelagert und bedeckte damit weitere Eislinsen.

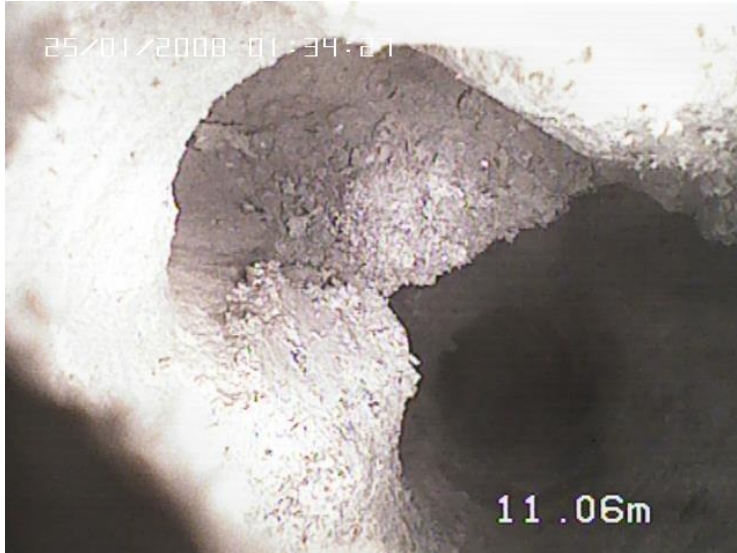
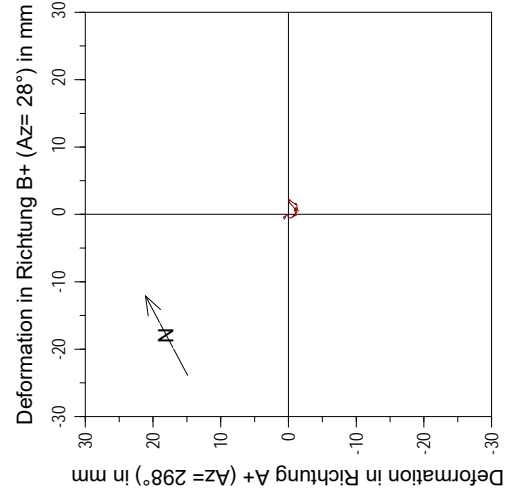
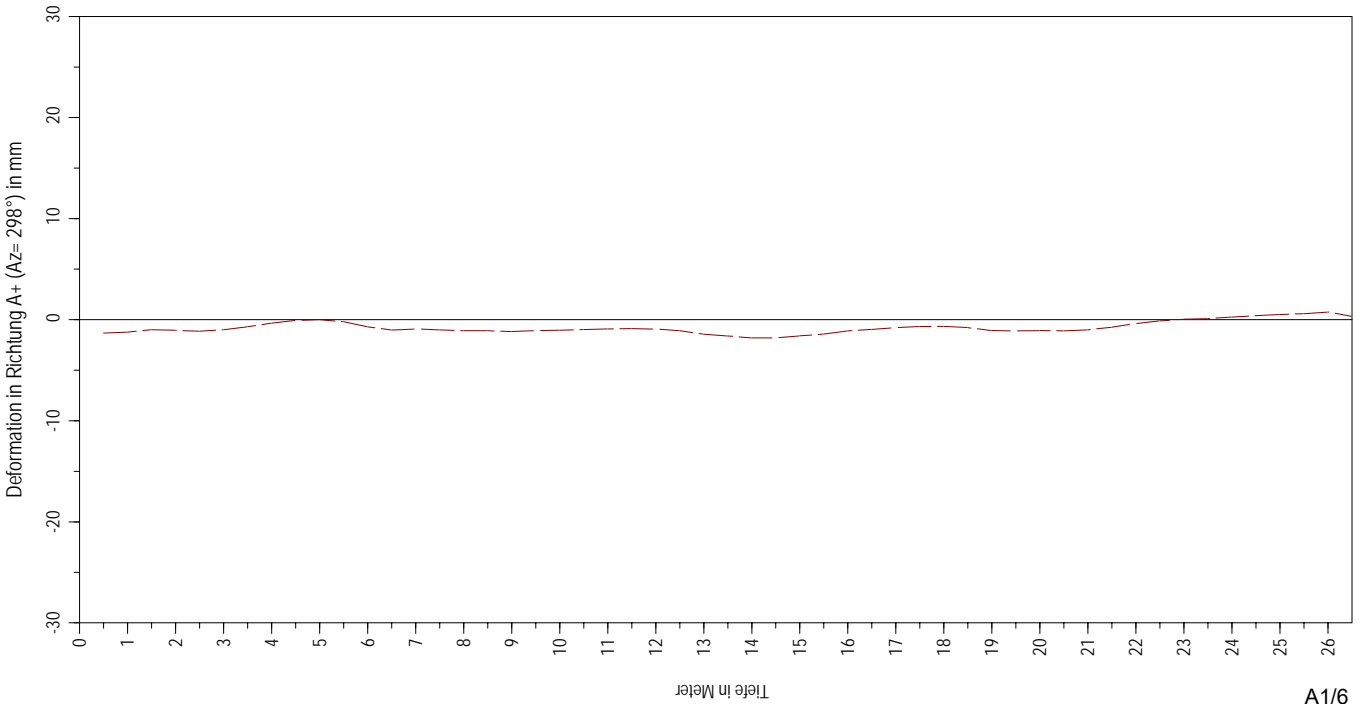
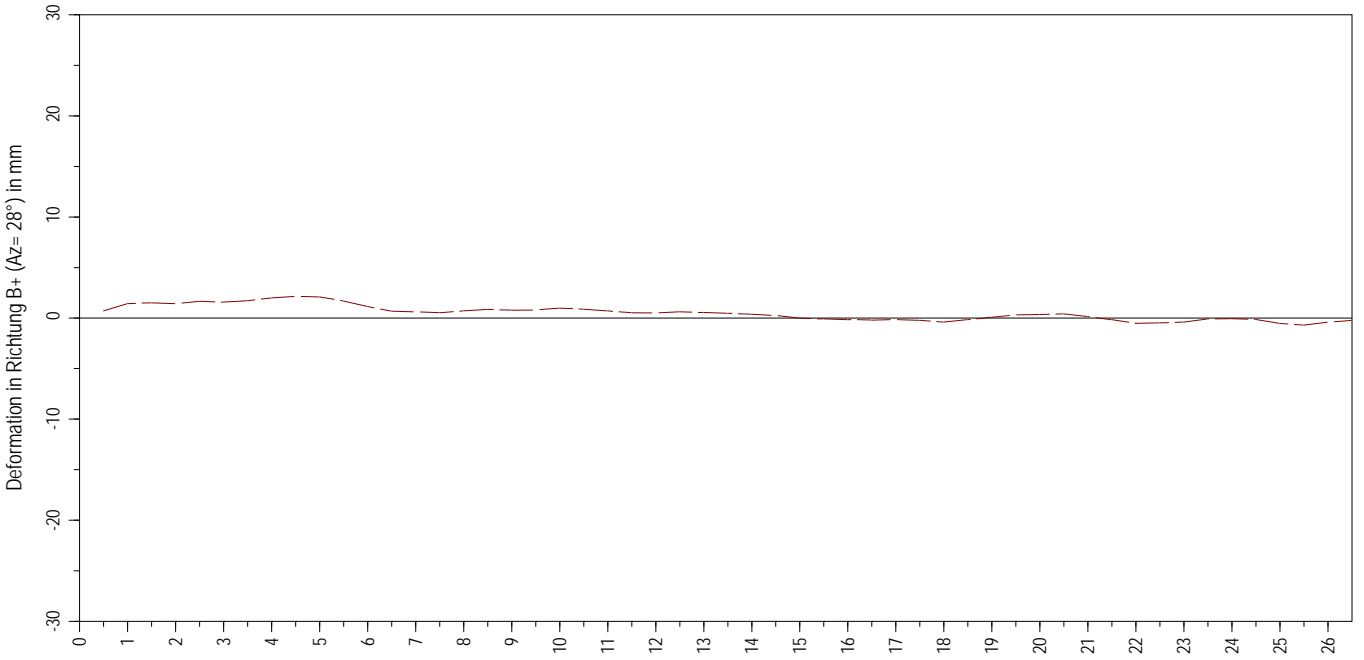


Abbildung 19: Mit Bohrmaterial bedeckte Steine und Blöcke. Die Räume zwischen den Blöcken und Steinen waren vereinzelt offen.

Anhang 4 Inclinometermessungen

Objekt : Spitze Stei
Auftrag : 1418139
Bohrung : TB1
Ort : Kandersteg
Inklinometer- messungen
GEOTEST

Nullmessung:	08.02.2020
	20.02.2020



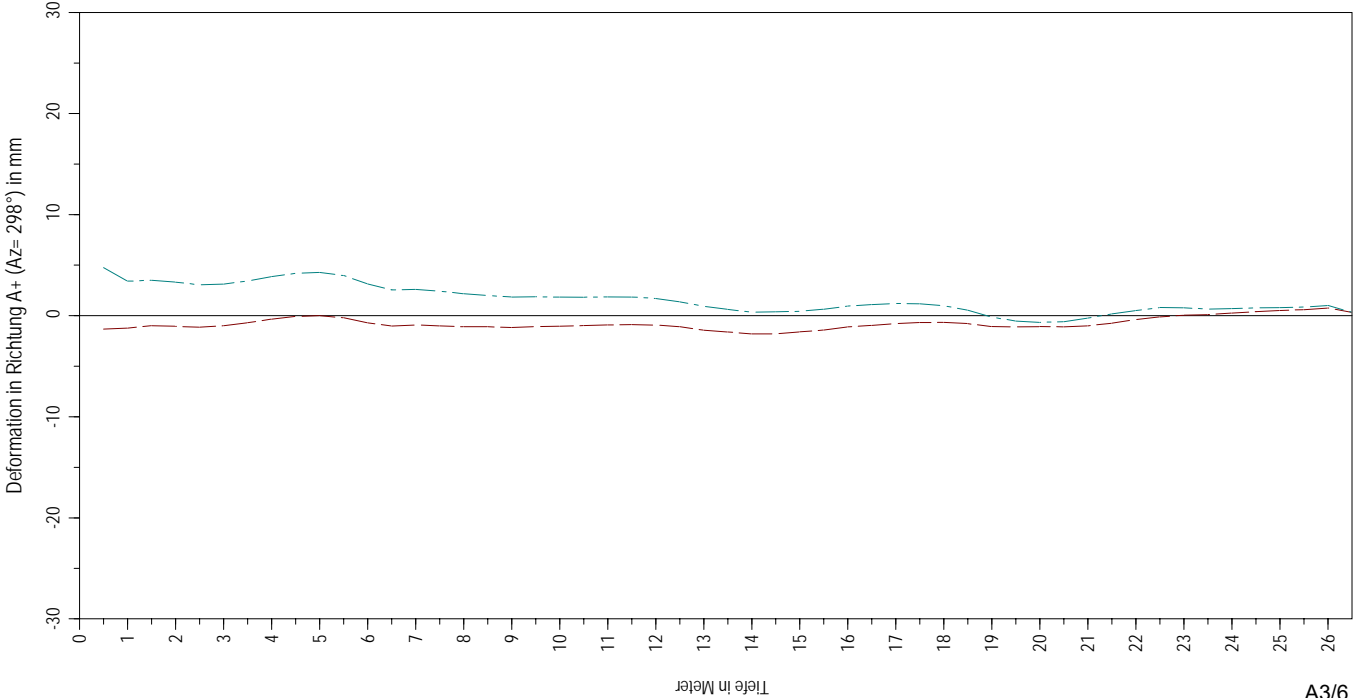
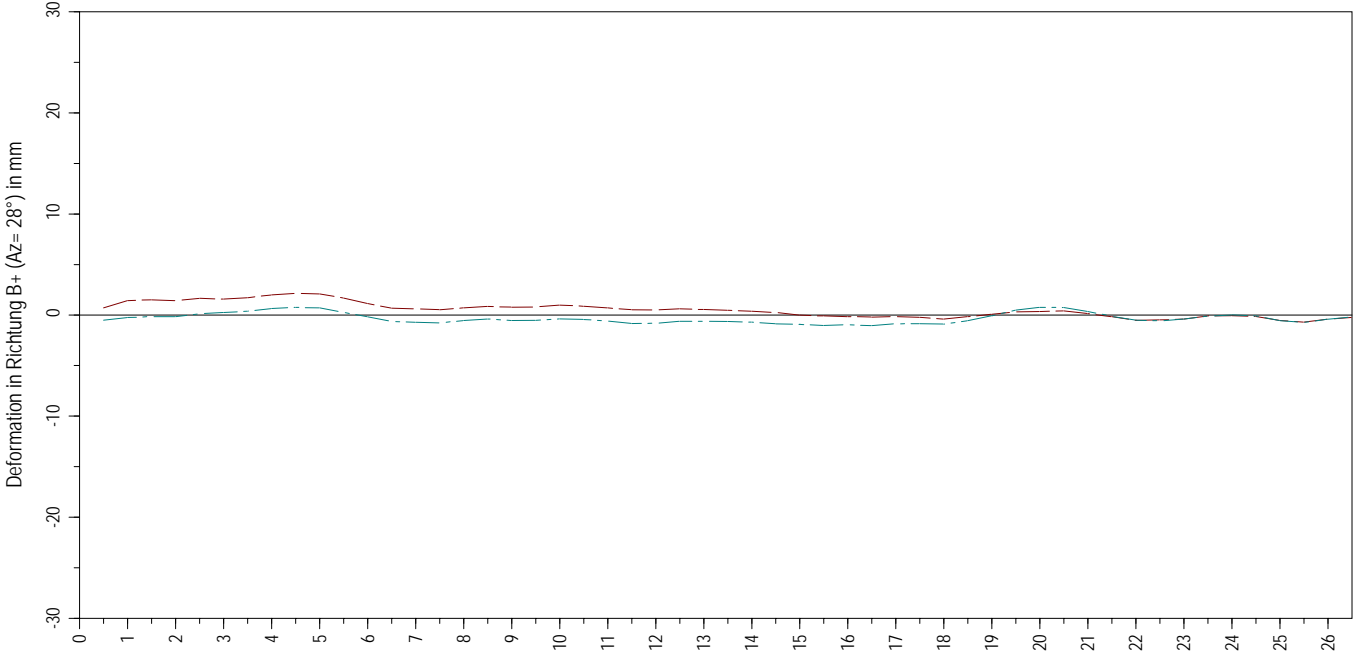
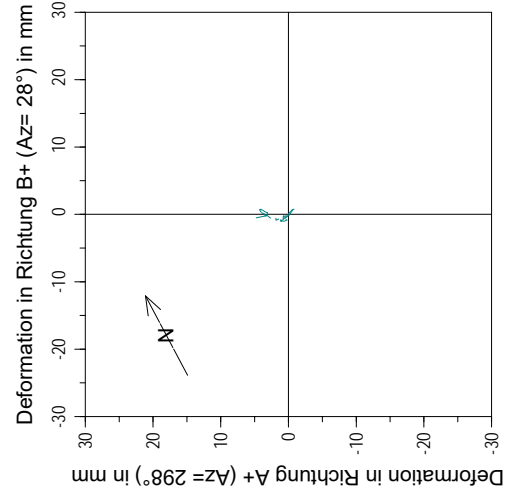
Objekt : Spitze Stei
 Auftrag : 1418139
 Bohrung : TB1
 Azimut der Rille A+ : 298°
 Azimut der Rille B+ : 28°
 Datum der Nullmessung : 08.02.2020 13:23:00
 Datum der Vergleichsmessung : 20.02.2020 08:00:00

Tiefe [m]	Verschiebungen in den Richtungen		Inkremente der Verschiebungen		Resultierende Verschiebungen		Verschiebung in Richtung von Azimut = 298°(A+) [mm]
	A+ [mm]	B+ [mm]	A+ [mm]	B+ [mm]	Wert [mm]	Azimut [°]	
0.50	-1.33	0.70	-0.10	-0.73	1.50	90	-1.33
1.00	-1.23	1.43	-0.24	-0.09	1.88	69	-1.23
1.50	-0.99	1.51	0.06	0.09	1.81	61	-0.99
2.00	-1.05	1.43	0.09	-0.23	1.77	64	-1.05
2.50	-1.14	1.65	-0.15	0.07	2.00	63	-1.14
3.00	-0.99	1.58	-0.29	-0.14	1.86	60	-0.99
3.50	-0.70	1.71	-0.36	-0.29	1.85	50	-0.70
4.00	-0.34	2.00	-0.26	-0.15	2.03	38	-0.34
4.50	-0.08	2.15	-0.07	0.06	2.15	30	-0.08
5.00	0.00	2.09	0.20	0.40	2.09	28	0.00
5.50	-0.20	1.69	0.51	0.55	1.70	35	-0.20
6.00	-0.71	1.14	0.31	0.46	1.34	60	-0.71
6.50	-1.03	0.68	-0.11	0.06	1.23	85	-1.03
7.00	-0.91	0.61	0.10	0.09	1.10	84	-0.91
7.50	-1.01	0.53	0.07	-0.19	1.14	91	-1.01
8.00	-1.09	0.71	0.01	-0.14	1.30	85	-1.09
8.50	-1.10	0.85	0.06	0.08	1.39	80	-1.10
9.00	-1.16	0.78	-0.09	-0.03	1.40	84	-1.16
9.50	-1.08	0.80	-0.04	-0.19	1.34	81	-1.08
10.00	-1.04	0.99	-0.06	0.11	1.43	74	-1.04
10.50	-0.98	0.88	-0.06	0.18	1.31	76	-0.98
11.00	-0.91	0.70	-0.02	0.17	1.15	81	-0.91
11.50	-0.89	0.53	0.04	0.02	1.03	87	-0.89
12.00	-0.93	0.50	0.16	-0.11	1.05	90	-0.93
12.50	-1.09	0.61	0.35	0.06	1.25	89	-1.09
13.00	-1.44	0.55	0.18	0.09	1.54	97	-1.44
13.50	-1.61	0.46	0.19	0.09	1.68	102	-1.61
14.00	-1.80	0.38	0.00	0.13	1.84	106	-1.80
14.50	-1.80	0.25	-0.20	0.26	1.82	110	-1.80
15.00	-1.60	-0.01	-0.18	0.08	1.60	118	-1.60
15.50	-1.43	-0.09	-0.31	0.06	1.43	122	-1.43
16.00	-1.11	-0.15	-0.15	0.05	1.12	126	-1.11
16.50	-0.96	-0.20	-0.18	-0.05	0.98	130	-0.96
17.00	-0.79	-0.15	-0.11	0.08	0.80	129	-0.79
17.50	-0.68	-0.23	-0.01	0.18	0.71	136	-0.68
18.00	-0.66	-0.40	0.13	-0.24	0.77	149	-0.66
18.50	-0.79	-0.16	0.29	-0.25	0.80	130	-0.79
19.00	-1.08	0.09	0.04	-0.22	1.08	113	-1.08
19.50	-1.11	0.31	-0.04	-0.04	1.16	102	-1.11
20.00	-1.08	0.35	0.04	-0.06	1.13	100	-1.08
20.50	-1.11	0.41	-0.11	0.27	1.19	98	-1.11
21.00	-1.00	0.14	-0.26	0.30	1.01	110	-1.00
21.50	-0.74	-0.16	-0.35	0.36	0.76	130	-0.74
22.00	-0.39	-0.53	-0.28	-0.04	0.65	172	-0.39
22.50	-0.11	-0.49	-0.16	-0.09	0.50	195	-0.11
23.00	0.05	-0.40	-0.06	-0.31	0.40	215	0.05
23.50	0.11	-0.09	-0.15	-0.03	0.14	260	0.11
24.00	0.26	-0.06	-0.14	0.07	0.27	285	0.26
24.50	0.40	-0.14	-0.11	0.40	0.42	279	0.40
25.00	0.51	-0.54	-0.09	0.16	0.74	252	0.51
25.50	0.60	-0.70	-0.16	-0.29	0.92	249	0.60
26.00	0.76	-0.41	0.45	-0.18	0.87	270	0.76
26.50	0.31	-0.24	0.31	-0.24	0.39	261	0.31

Die Berechnung geht davon aus,
dass sich der Fusspunkt des Messrohres nicht verschiebt.

Objekt : Spitze Stei
Auftrag : 1418139
Bohrung : TB1
Ort : Kandersteg
Inklinometer- messungen
GEOTEST

Nullmessung:	08.02.2020
	20.02.2020
	11.03.2020



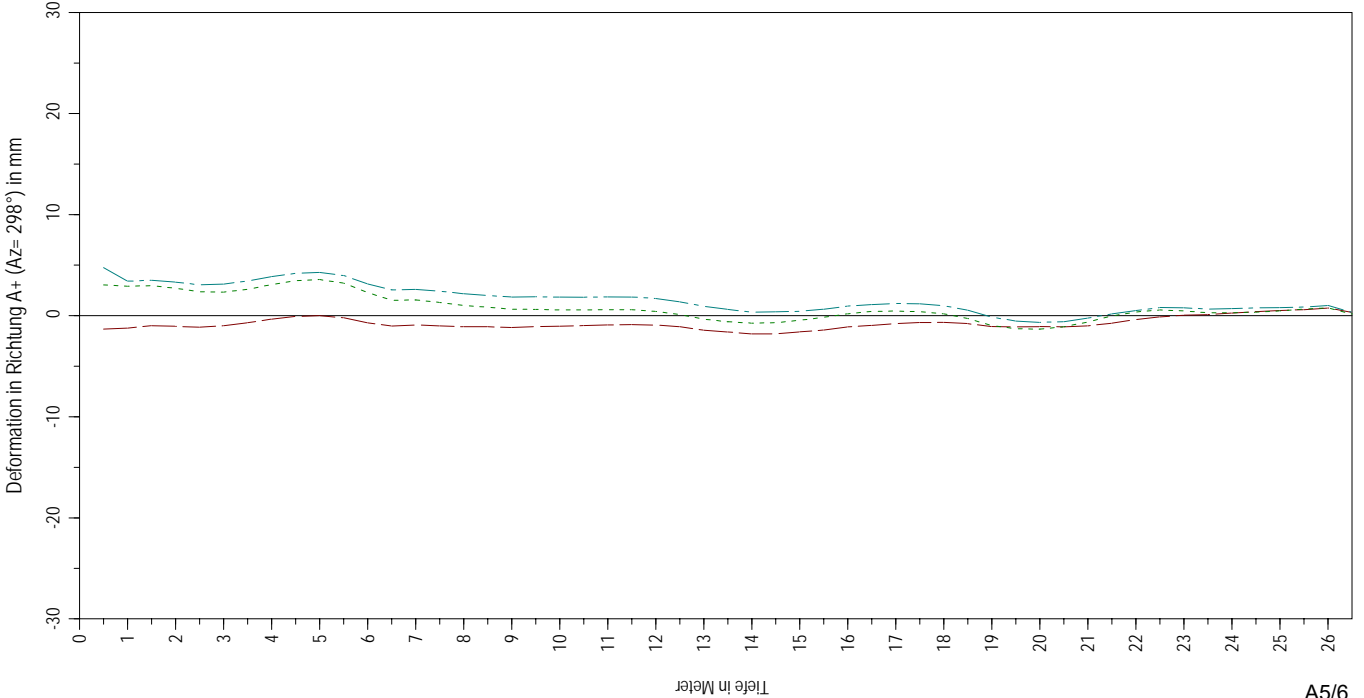
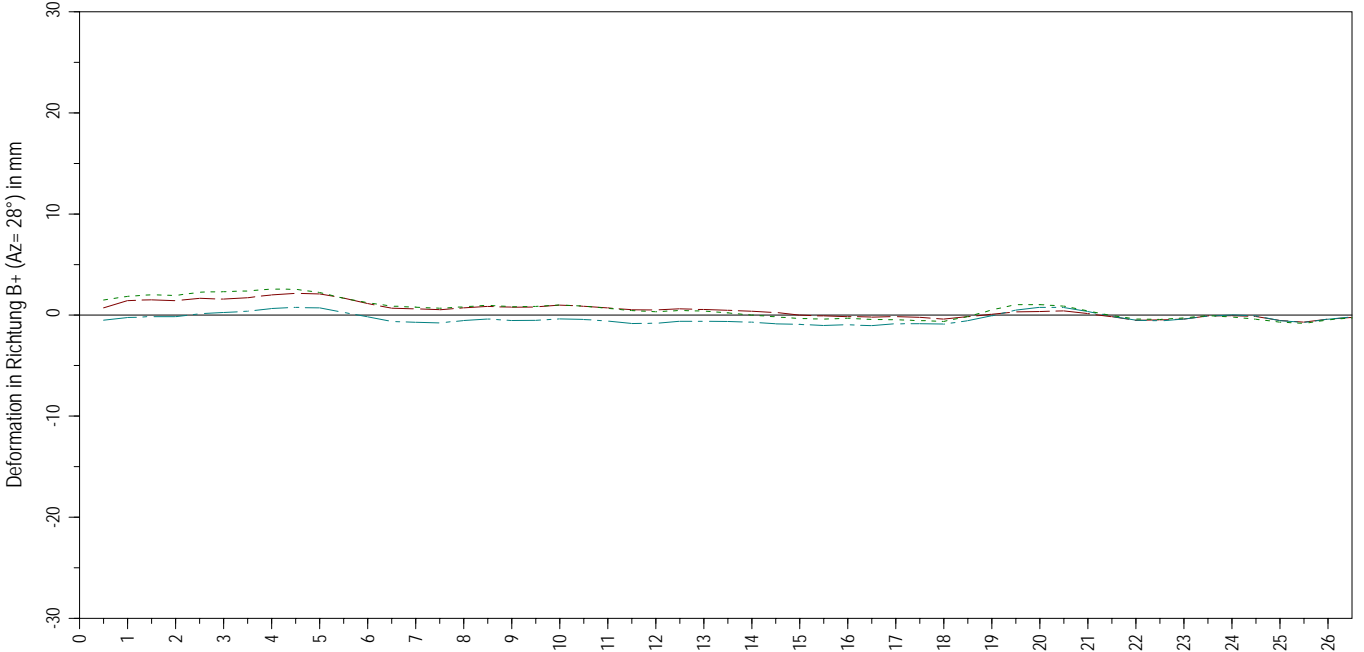
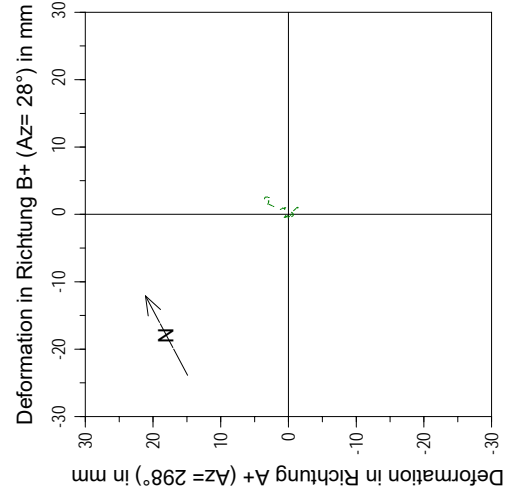
Objekt : Spitze Stei
 Auftrag : 1418139
 Bohrung : TB1
 Azimut der Rille A+ : 298°
 Azimut der Rille B+ : 28°
 Datum der Nullmessung : 08.02.2020 13:23:00
 Datum der Vergleichsmessung : 11.03.2020 12:06:00

Tiefe [m]	Verschiebungen in den Richtungen		Inkremete der Verschiebungen		Resultierende Verschiebungen		Verschiebung in Richtung von Azimut = 298°(A+) [mm]
	A+ [mm]	B+ [mm]	A+ [mm]	B+ [mm]	Wert [mm]	Azimut [°]	
0.50	4.75	-0.51	1.34	-0.26	4.78	292	4.75
1.00	3.41	-0.25	-0.10	-0.10	3.42	294	3.41
1.50	3.51	-0.15	0.20	0.01	3.52	296	3.51
2.00	3.31	-0.16	0.25	-0.29	3.32	295	3.31
2.50	3.06	0.13	-0.06	-0.14	3.07	300	3.06
3.00	3.13	0.26	-0.30	-0.11	3.14	303	3.13
3.50	3.43	0.38	-0.44	-0.28	3.45	304	3.43
4.00	3.86	0.65	-0.32	-0.11	3.92	308	3.86
4.50	4.19	0.76	-0.09	0.06	4.26	308	4.19
5.00	4.28	0.70	0.30	0.44	4.33	307	4.28
5.50	3.98	0.26	0.84	0.44	3.98	302	3.98
6.00	3.14	-0.18	0.59	0.46	3.14	295	3.14
6.50	2.55	-0.64	-0.05	0.07	2.63	284	2.55
7.00	2.60	-0.71	0.18	0.06	2.70	283	2.60
7.50	2.43	-0.78	0.25	-0.24	2.55	280	2.43
8.00	2.18	-0.54	0.18	-0.15	2.24	284	2.18
8.50	2.00	-0.39	0.15	0.15	2.04	287	2.00
9.00	1.85	-0.54	-0.03	-0.01	1.93	282	1.85
9.50	1.88	-0.53	0.04	-0.15	1.95	282	1.88
10.00	1.84	-0.38	0.01	0.06	1.88	286	1.84
10.50	1.83	-0.44	-0.04	0.15	1.88	285	1.83
11.00	1.86	-0.59	0.01	0.25	1.95	280	1.86
11.50	1.85	-0.84	0.15	-0.02	2.03	274	1.85
12.00	1.70	-0.81	0.33	-0.20	1.88	272	1.70
12.50	1.38	-0.61	0.45	0.00	1.51	274	1.38
13.00	0.93	-0.61	0.30	0.02	1.11	264	0.93
13.50	0.63	-0.64	0.27	0.06	0.89	252	0.63
14.00	0.35	-0.70	-0.04	0.16	0.78	235	0.35
14.50	0.39	-0.86	-0.05	0.06	0.95	232	0.39
15.00	0.44	-0.93	-0.20	0.10	1.02	233	0.44
15.50	0.64	-1.03	-0.31	-0.06	1.21	240	0.64
16.00	0.95	-0.96	-0.15	0.09	1.35	253	0.95
16.50	1.10	-1.05	-0.10	-0.19	1.52	254	1.10
17.00	1.20	-0.86	0.03	-0.01	1.48	262	1.20
17.50	1.18	-0.85	0.19	0.05	1.45	262	1.18
18.00	0.99	-0.90	0.45	-0.34	1.34	256	0.99
18.50	0.54	-0.56	0.69	-0.49	0.78	252	0.54
19.00	-0.15	-0.08	0.38	-0.57	0.17	145	-0.15
19.50	-0.53	0.50	0.14	-0.26	0.73	74	-0.53
20.00	-0.66	0.76	-0.07	0.01	1.01	69	-0.66
20.50	-0.59	0.75	-0.35	0.40	0.95	66	-0.59
21.00	-0.24	0.35	-0.41	0.48	0.42	62	-0.24
21.50	0.18	-0.13	-0.34	0.39	0.22	262	0.18
22.00	0.51	-0.51	-0.29	0.06	0.72	253	0.51
22.50	0.80	-0.58	0.02	-0.18	0.99	262	0.80
23.00	0.78	-0.40	0.11	-0.30	0.87	271	0.78
23.50	0.66	-0.10	-0.04	-0.11	0.67	289	0.66
24.00	0.70	0.01	-0.07	0.10	0.70	299	0.70
24.50	0.78	-0.09	-0.01	0.46	0.78	292	0.78
25.00	0.79	-0.55	-0.07	0.19	0.96	263	0.79
25.50	0.86	-0.74	-0.15	-0.32	1.13	257	0.86
26.00	1.01	-0.41	0.68	-0.24	1.09	276	1.01
26.50	0.34	-0.18	0.34	-0.18	0.38	271	0.34

Die Berechnung geht davon aus,
dass sich der Fusspunkt des Messrohres nicht verschiebt.

Objekt : Spitze Stei
Auftrag : 1418139
Bohrung : TB1
Ort : Kandersteg
Inklinometer- messungen
GEOTEST

Nullmessung:	08.02.2020
	20.02.2020
	11.03.2020
	03.04.2020



Objekt : Spitze Stei
 Auftrag : 1418139
 Bohrung : TB1
 Azimut der Rille A+ : 298°
 Azimut der Rille B+ : 28°
 Datum der Nullmessung : 08.02.2020 13:23:00
 Datum der Vergleichsmessung : 03.04.2020 10:01:00

Tiefe [m]	Verschiebungen in den Richtungen		Inkremete der Verschiebungen		Resultierende Verschiebungen		Verschiebung in Richtung von Azimut = 298°(A+) [mm]
	A+ [mm]	B+ [mm]	A+ [mm]	B+ [mm]	Wert [mm]	Azimut [°]	
0.50	3.05	1.49	0.14	-0.36	3.39	324	3.05
1.00	2.91	1.85	-0.06	-0.16	3.45	330	2.91
1.50	2.98	2.01	0.26	0.08	3.59	332	2.98
2.00	2.71	1.94	0.35	-0.33	3.33	334	2.71
2.50	2.36	2.26	0.02	-0.05	3.27	342	2.36
3.00	2.34	2.31	-0.28	-0.07	3.29	343	2.34
3.50	2.61	2.39	-0.46	-0.19	3.54	340	2.61
4.00	3.08	2.58	-0.39	0.03	4.01	338	3.08
4.50	3.46	2.55	-0.11	0.31	4.30	334	3.46
5.00	3.58	2.24	0.35	0.57	4.22	330	3.58
5.50	3.23	1.66	0.94	0.45	3.63	325	3.23
6.00	2.29	1.21	0.76	0.32	2.59	326	2.29
6.50	1.53	0.89	-0.04	0.11	1.76	328	1.53
7.00	1.56	0.78	0.25	0.10	1.74	324	1.56
7.50	1.31	0.68	0.30	-0.14	1.48	325	1.31
8.00	1.01	0.81	0.18	-0.15	1.30	337	1.01
8.50	0.84	0.96	0.20	0.14	1.28	347	0.84
9.00	0.64	0.83	0.01	-0.03	1.04	350	0.64
9.50	0.63	0.85	0.06	-0.15	1.06	352	0.63
10.00	0.56	1.00	-0.01	0.11	1.15	359	0.56
10.50	0.58	0.89	-0.02	0.23	1.06	355	0.58
11.00	0.60	0.66	0.01	0.22	0.89	346	0.60
11.50	0.59	0.44	0.16	0.11	0.73	335	0.59
12.00	0.43	0.33	0.31	-0.13	0.54	335	0.43
12.50	0.11	0.45	0.45	0.05	0.46	14	0.11
13.00	-0.34	0.40	0.26	0.19	0.52	68	-0.34
13.50	-0.60	0.21	0.14	0.21	0.64	98	-0.60
14.00	-0.74	0.00	-0.04	0.18	0.74	118	-0.74
14.50	-0.70	-0.18	-0.25	0.16	0.72	132	-0.70
15.00	-0.45	-0.34	-0.29	0.06	0.56	155	-0.45
15.50	-0.16	-0.40	-0.35	-0.09	0.43	186	-0.16
16.00	0.19	-0.31	-0.24	0.13	0.36	239	0.19
16.50	0.43	-0.44	-0.04	0.02	0.61	252	0.43
17.00	0.46	-0.46	0.06	0.09	0.65	253	0.46
17.50	0.40	-0.55	0.21	0.07	0.68	244	0.40
18.00	0.19	-0.63	0.46	-0.48	0.65	225	0.19
18.50	-0.28	-0.15	0.70	-0.65	0.31	147	-0.28
19.00	-0.98	0.50	0.31	-0.54	1.10	91	-0.98
19.50	-1.29	1.04	0.04	0.00	1.65	79	-1.29
20.00	-1.33	1.04	-0.23	0.15	1.68	80	-1.33
20.50	-1.10	0.89	-0.48	0.47	1.41	79	-1.10
21.00	-0.63	0.41	-0.60	0.48	0.75	85	-0.63
21.50	-0.03	-0.06	-0.39	0.32	0.07	186	-0.03
22.00	0.36	-0.39	-0.20	0.05	0.53	251	0.36
22.50	0.56	-0.44	0.09	-0.16	0.71	260	0.56
23.00	0.48	-0.28	0.19	-0.21	0.55	268	0.48
23.50	0.29	-0.06	0.00	0.13	0.29	286	0.29
24.00	0.29	-0.19	-0.06	0.22	0.34	265	0.29
24.50	0.35	-0.41	-0.13	0.29	0.54	248	0.35
25.00	0.48	-0.70	-0.18	0.13	0.85	242	0.48
25.50	0.65	-0.83	-0.13	-0.35	1.05	246	0.65
26.00	0.78	-0.48	0.61	-0.20	0.91	266	0.78
26.50	0.16	-0.28	0.16	-0.28	0.32	239	0.16

Die Berechnung geht davon aus,
dass sich der Fusspunkt des Messrohres nicht verschiebt.