

### 3.1b Permafrost – der eisige Klebstoff der Berge

#### Was ist Permafrost und wo kommt er bei uns vor?

Wenn der Untergrund mindestens über zwei Jahr durchgehend gefroren ist, also unter null Grad kalt ist, spricht man von Dauerfrost oder Permafrost (von **permanent** [dauernd, ständig] und **Frost**). Derartige Bedingungen kommen im Hochgebirge vor. Da grosse Teile der Alpen und somit auch Teile der Regionen Davos und des Parc Ela zum Hochgebirge zählen, findet man auch dort Permafrost. Dauerhaft gefrieren kann nicht nur Boden (Erde), sondern auch Schutt, Moränenmaterial, ja sogar Felswände und ganze Berge, wie zum Beispiel das Matterhorn.

Unabhängig vom Material im Untergrund (Boden, Gesteinsschutt, Moränenmaterial oder Fels) taut in einem Permafrostgebiet die oberste Schicht auf, sobald dort die Temperaturen über null Grad klettern. Weil das Eis in dieser Schicht nicht ständig gefroren bleibt, zählt sie nicht zum Permafrost. Man nennt sie die sommerliche **Auftauschicht**. Je nach Standort kann sie wenige Zentimeter bis mehrere Meter dick sein. Darunter befindet sich die Schicht mit dem ständig gefrorenen Bereich, dem sogenannten **Permafrostkörper**. Hier herrschen Temperaturen von  $-3$  bis  $0$  °C. Der Permafrostkörper kann einige Meter bis über hundert Meter tief reichen. Noch weiter unten ist der Untergrund nicht mehr gefroren. Diesen Bereich nennt man den **ungefrorenen Untergrund**. Die obere Grenze des Permafrostkörpers heisst **Permafrostspiegel**, die untere Grenze **Permafrostbasis**.

#### Lernaufgabe 1

- Lies den Text oben und markiere mit einem Farbstift die wichtigsten Informationen.
- Studiere die Abbildung 1. Trage die 5 fett gedruckten Fachwörter aus dem Text an der richtigen Stelle in die Abbildung 1 ein.
- Achte auf die Nullgradgrenze und studiere, wie die Temperatur mit zunehmender Tiefe verläuft. Welche Temperaturen herrschen im Sommer und im Winter in der Auftauschicht, im Permafrostkörper und im ungefrorenen Untergrund? Trage deine Lösungen in die Spalte «Temperatur in den drei Schichten» ein. Gib an, ob die Werte über oder unter  $0^{\circ}\text{C}$  liegen.

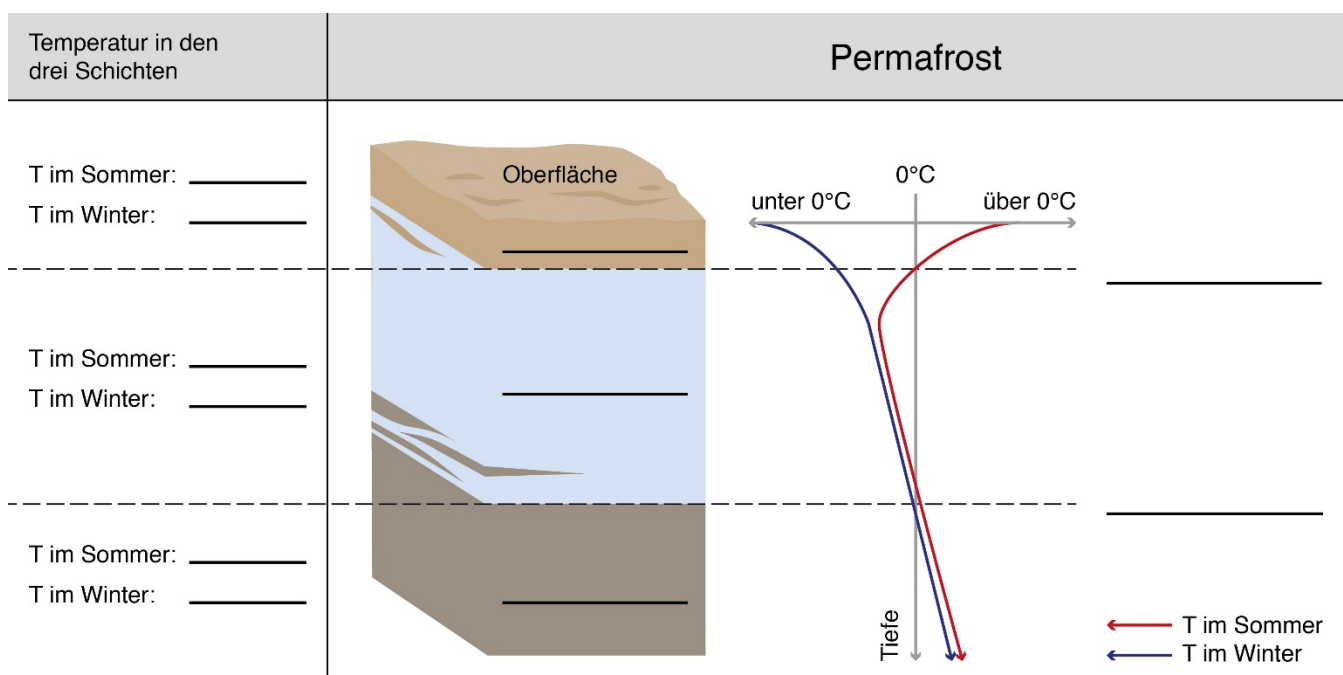


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines von Permafrost durchzogenen Untergrunds  
(Quelle: <https://naturwissenschaften.ch/topics/snow-glaciers-permafrost/permafrost>, verändert).

### Wie beeinflussen die Wetterverhältnisse den Permafrost?

Neben den tiefen Lufttemperaturen und dem Material des Untergrunds sind auch noch andere Faktoren für das Vorkommen von Permafrost entscheidend. So können schattige Lagen mit wenig Sonne im Sommerhalbjahr und vergleichsweise tiefe Sommertemperaturen die Bildung von Permafrost begünstigen. Auch die Mächtigkeit der Schneedecke und der Zeitpunkt des Einschneiens sind wichtig. Eine dünne Schneedecke am Anfang des Winters, wenn es kalt wird, lässt die Kälte tief in den Boden eindringen und fördert den Permafrost. Eine dicke Schneedecke im Spätwinter verhindert, dass der Boden sich schnell aufwärmt. Umgekehrt verhindert eine dicke Schneedecke am Anfang des Winters, dass der Boden stark abkühlt. Wenn es in der schneefreien Zeit der Sonne gelingt, den Boden stark aufzuwärmen und die Lufttemperaturen den ganzen Sommer hoch bleiben, dann wird auch das Eis bis tief in den Untergrund wärmer. Der eisige Klebstoff wird somit auch von den jeweils herrschenden Wetterverhältnissen beeinflusst.

### Warum ist der Untergrund unter dem Permafrostkörper nicht gefroren?

In der Erdkruste steigt die Temperatur mit der Tiefe im Durchschnitt um rund drei Grad pro 100m. Dies nennt man den geothermischen Gradienten. In Gebieten mit Permafrost bleibt es jedoch bis unter der Permafrostbasis kalt. Der Grund dafür ist die im Eis und in den Hohlräumen eingeschlossene Luft. Diese leitet die Wärme, die aus der Tiefe kommt, nur sehr langsam weiter. Der Wärmestrom reicht nicht aus um den Permafrostkörper von unten her zu tauen. Deshalb kann dieser 4°C bis 6°C kälter sein als seine Umgebung. Unterhalb der Permafrostbasis steigt die Temperatur gemäss dem geothermischen Gradienten wieder an und der Untergrund ist nicht mehr gefroren.

## Lernaufgabe 2

- a) Lies die zwei Texte oben und markiere mit einem Farbstift die wichtigsten Informationen.
- b) Notiere wie die Wetterverhältnisse das Vorkommen von Permafrost beeinflussen können und überlege:
  - wie könnte ein sehr warmer Sommer, wie z.B. 2003 oder 2018, auf den Permafrost wirken?
  - wie könnte ein sehr kalter und schneearmer Winter auf den Permafrost wirken?
- c) Versuche zu erklären warum der Wärmetransport aus dem Innern der Erdkruste nicht ausreicht um den Permafrost von unten her zu tauen.

### Blockgletscher – Gletscher aus Schutt und Eis

Permafrost ist nicht direkt sichtbar. Er ist im Boden, unter Schutt oder im Fels verborgen. In der Landschaft weisen aber bestimmte Formen auf einen gefrorenen Untergrund hin. Beispiele hierfür sind Schneeflecken, die - weil der Boden darunter gekühlt wird - bis in den Sommer liegen bleiben. Ein weiteres Beispiel sind die sogenannten Blockgletscher (Abbildung 2). Ein Blockgletscher ist ein Gemenge aus Schutt und Eis, das unter der Wirkung der Schwerkraft talwärts fließt, ähnlich einem Gletscher. Blockgletscher erreichen Fließgeschwindigkeiten von 0,1 bis 3 Metern pro Jahr.



Abb. 2: Beispiele für Blockgletscher. Oben: Blockgletscher der Wiss Rüfi am Flüela-Wysshorn (Schuttmasse in der Bildmitte). Unten: Blockgletscher am Corvatsch im Engadin. Aus der Luft ist die wulstig geformte Schutt-Eismasse gut zu erkennen.

## Vorkommen von Permafrost in den Regionen Davos und Parc Ela

### Lernaufgabe 3

Arbeitet zu zweit:

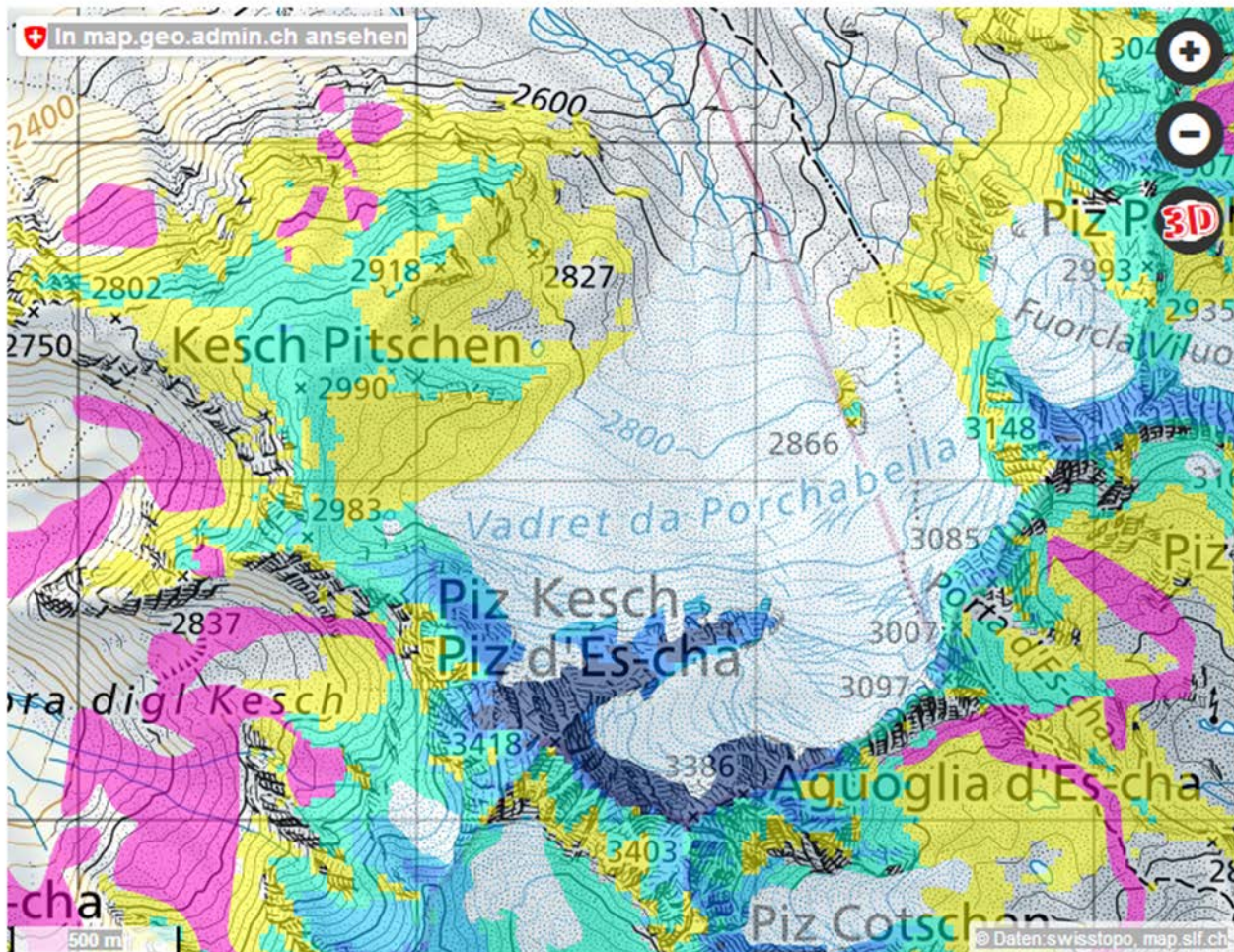
- Was haben Lavaströme, die sich bei einem Vulkanausbruch bilden, und Blockgletscher gemeinsam?
- Aus Lernsequenz 3.1a kennst du schon den "Vadret da Porchabella" und den "Vadret da Grialetsch". In den Abbildungen 3 und 4 siehst du Karten mit den Permafrostflächen um die Gletscher. Finde heraus, ab welcher Höhe ü. M. Gebiete mit Permafrost zu finden sind.

In der Region des "Vadret da Porchabella" ab \_\_\_\_\_ m ü. M.

In der Region des "Vadret da Grialetsch" ab \_\_\_\_\_ m ü. M.



- c) Vergleiche die Ausdehnung des Permafrostes in den beiden Kartenausschnitten, die eine gleich grosse Fläche abdecken. Betrachte hierfür sämtliche Permafrostgebiete (von rosa bis grau). Was fällt dir auf? Notiere deine Beobachtungen.

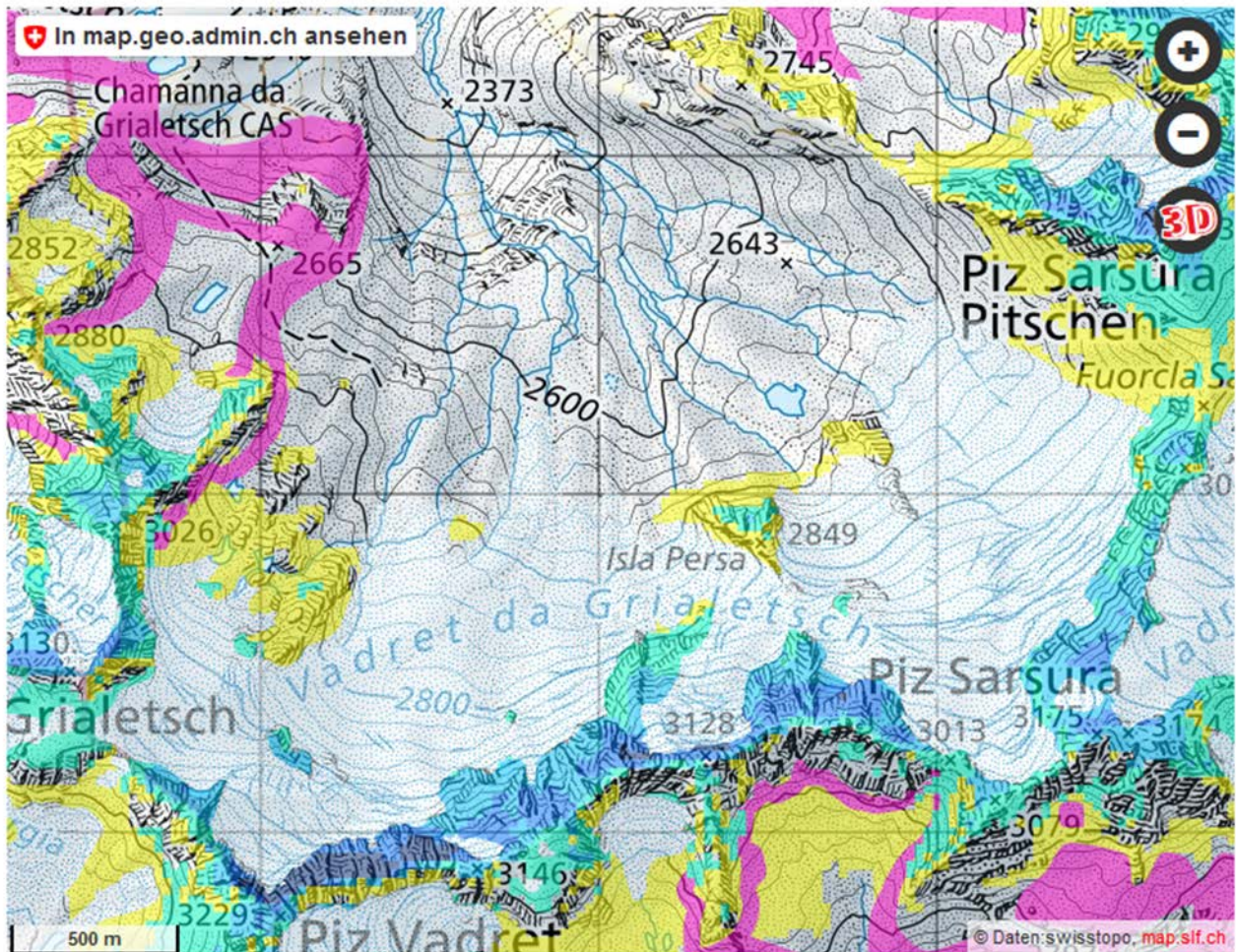


### Legende

| Zone 1                           |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| < -3°C                           | Permafrost<br>vereinzelt<br>möglich |
| -2 bis -3°C                      |                                     |
| -1 bis -2°C                      |                                     |
| 0 bis -1 °C                      |                                     |
| 1 bis 0 °C                       |                                     |
| Zone 2                           |                                     |
| Eisreicher<br>Permafrost möglich |                                     |

Abb. 3: Permafrostgebiete um den Vadret da Porchabella oder Porchabella-Gletscher am Piz Kesch. (Karte: Permafrost- und Bodeneiskarte, <https://www.slf.ch/de/permafrost/bauen-im-permafrost/permafrost-und-bodeneiskarte.html>)





Legende

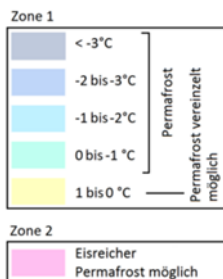


Abb. 4: Permafrostgebiete um den Vadret da Grialetsch oder Grialetschgletscher. (Karte: Permafrost- und Bodeneiskarte, <https://www.slf.ch/de/permafrost/bauen-im-permafrost/permafrost-und-bodeneiskarte.html>).

## Der Permafrost in Zeiten des Klimawandels

### Lernaufgabe 5

Lies den Text und markiere mit einem Farbstift die wichtigsten Informationen.

Die Forschung möchte herausfinden, wie sich der Klimawandel auf den Permafrost auswirkt. In Borlöchern, die viele Meter tief in den Permafrost reichen, wird in verschiedenen Tiefen die Temperatur erfasst. Dabei hat man festgestellt, dass der Permafrost auf den Klimawandel reagiert. So werden die Auftauschichten im Sommer immer dicker und das Eis der Permafrostkörper erwärmt sich. Die Vorgänge laufen aber sehr langsam ab, denn sie werden nebst der Lufttemperatur durch eine Vielzahl von weiteren Faktoren beeinflusst. Man kann aber heute schon beobachten, dass die Festigkeit im gefrorenen Fels abnimmt. Eis, das sich in Rissen und Klüften befindet, schmilzt weg, und mit ihm verschwindet auch der Kitt oder Klebstoff zwischen einzelnen Felsstücken. Dadurch steigt die Gefahr für Steinschlag und Felssturz. So brach im Februar 2014 am Piz Kesch ein Felspfeiler zusammen, und grosse Felsbrocken stürzten auf den "Vadret da Porchabella" (Abbildung 5).

Die Forschung nimmt an, dass in den Alpen bis gegen Ende des 21. Jahrhunderts der Permafrost im steilen Fels bis auf einer Höhenlage 3500 m ü. M. komplett verschwindet. In flacheren Felspartien und im Boden wird er jedoch noch länger vorhanden sein.

In der Region Davos und im Parc Ela sind zurzeit vor allem höher gelegene Wanderwege und Hütten vom auftauenden Permafrost und möglichen Folgen wie Steinschlag und Felsstürzen betroffen. Mit solchen Gefahren muss in Zukunft in höheren Lagen an manchen Stellen gerechnet werden, z.B. an der Strasse über den Flüela- oder den Albula-Pass, oder an Alp- und Wanderwegen.

Ein weiteres Phänomen des auftauenden Permafrosts ist das Absacken des Untergrunds. Davon betroffen ist weniger der Fels, sondern vor allem Ablagerungen von Lockergesteinen. Wenn das Eis im Untergrund auftaut, nimmt das übrige Bodenmaterial den leerwerdenden Raum ein. Der Boden sackt ab. Dies wird zum Problem, falls ein Gebäude oder die Stütze einer Seilbahn oder eine Lawinverbauung über diesem Untergrund errichtet sind. In der Region Davos und im Parc Ela sind bis anhin noch keine derartigen Probleme aufgetaucht.



Abb. 5: Material aus einem Felssturz am Piz Kesch hat sich auf dem Vadret da Porchabella abgelagert. An der Abrissstelle war blankes Eis zu erkennen. (Foto: Piz Kesch, 2014. Marcia Phillips SLF)



## Lernaufgabe 6

In der Abbildung 6 siehst du links ein Luftbild der Strasse am Flüelapass und rechts den dazugehörigen Ausschnitt der Bodeneis- und Permafrostkarte. Wie du siehst, führt eine Strasse durch ein Permafrost-Gebiet, das mit der Farbe rosa markiert ist.

- Welche Gefahren könnten vom Permafrostgebiet oberhalb der Passstrasse ausgehen, wenn das Eis im Untergrund schmelzen sollte? Notiere deine Überlegungen und übertrage sie in den Kartenausschnitt mit Signaturen, zum Beispiel mit farbigen Pfeilen. Erstelle auch eine Legende zu deinen Signaturen.
- Von welchen Problemen könnte die Passstrasse selbst direkt betroffen sein, wenn das Eis unter der Strasse schmilzt?

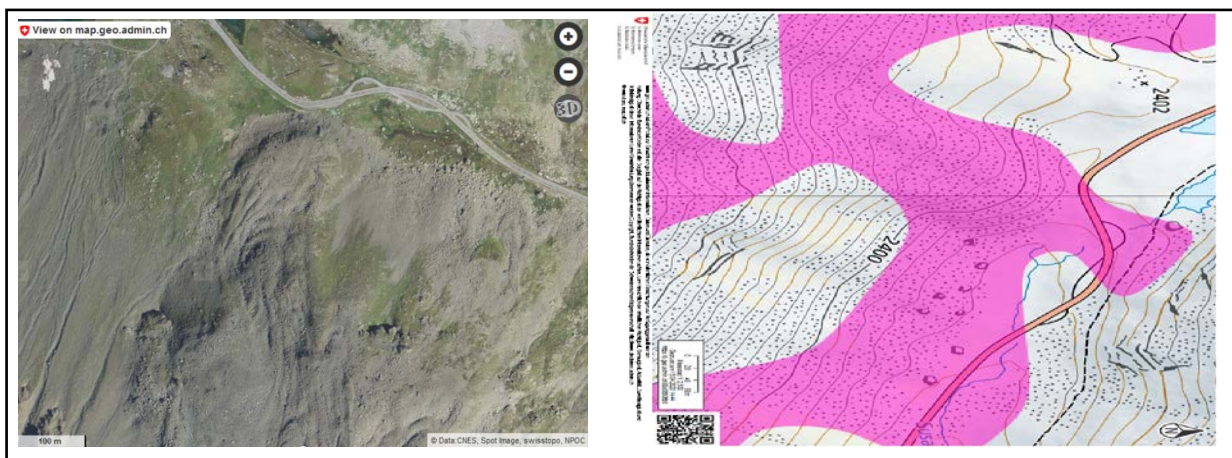


Abb. 6: Strassenabschnitt südöstlich des Flüela-Passes. Links: Luftbild, rechts: Karte. Die Rosa markierte Fläche zeigt ein eisreiches Permafrost. (Quelle: <https://www.slf.ch/de/permafrost/bauen-im-permafrost/permafrost-und-bodeneiskarte.html>)

## Lernaufgabe 5

Schau' den Film "Tauwetter im Untergrund" an (<http://www.gemeindedavos.ch/de/wohnenwirtschaft/wohnen/klimawandel/>). Pass gut auf, damit du anschliessend einen Test über den Inhalt bestehst.

### Teste dein Wissen:

Kreuze die richtige Antwort an. Bei jedem Punkt sind eine oder mehrere Antworten richtig.

1. Permafrost ist
  - ein anderer Name für Gletscher.
  - ein anderes Wort für Dauerfrost.
  - dauernd gefrorener Untergrund.
  - ein anderes Wort für Bodenfrost.
  
2. Permafrost kommt vor
  - in den Regionen von Davos und Parc Ela oberhalb von 2400 m ü. M.
  - in Grönland, aber nicht in der Schweiz.
  - überall, wo es im Winter manchmal unter 0 °C kalt ist.
  - wenn die Lufttemperatur über dem Boden unter 0 °C sinkt.
  
3. Hinweise für Permafrost in der Landschaft sind:
  - Blockgletschern.
  - eigenartigen Fliessmustern der Bodenoberfläche.
  - Eiszapfen an Felswänden.
  - spät ausapernden Schneefeldern.
  
4. Das Permafrost-Eis am Flüela-Pass
  - erreicht eine Dicke von über 1000 m unter dem Schottensee.
  - erreicht eine Dicke von 10 m in Schutthalden.
  - erreicht eine Dicke von wenigen Millimetern bis Zentimetern in Felsspalten.
  - ist schon lange geschmolzen.
  
5. Folgen des auftauenden Permafrosts sind
  - Steinschlag.
  - Felsstürze.
  - Hangrutschungen.
  - instabiler Untergrund.
  
6. Mögliche Risiken des auftauenden Permafrosts für Menschen und Bauten sind
  - Einsinken in sumpfigem Boden beim Wandern.
  - Schäden an Strassen und anderen Bauten, wie z.B. Skilift-Masten.
  - Verschmutzung des Grundwassers.
  - Steinschlag, der Wanderer trifft.