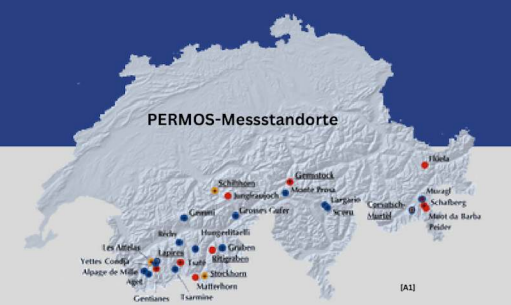


# Permafrostmonitoring in den Alpen

von Nelson Neuenhaus

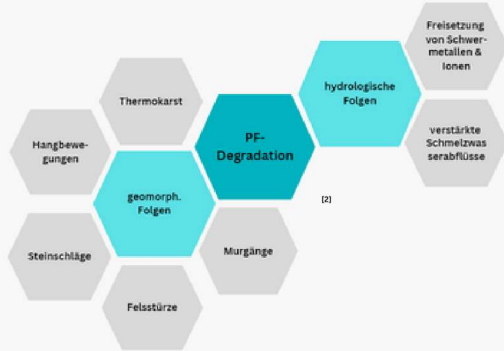


## 1 Relevanz

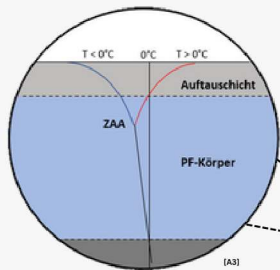
unter Permafrost (PF) wird Lithosphärenmaterial verstanden, das über eine Dauer von mind. 2 Jahren ununterbrochen Temp. von unter 0°C aufweist [1]

als rein thermisches definiertes Phänomen unterliegt der PF im Rahmen des Klimawandels weitreichenden Veränderungen

die zunehmende PF-Degradation ist mit geomorphologischen und hydrologischen Implikationen verbunden die das Gefahrenpotential für Mensch und Infrastruktur im alpinen Raum erhöhen können



Konsequenz: es besteht die Notwendigkeit den Zustand und die Veränderungen des alpinen PF langfristig zu überwachen



## 2 Umsetzung

Zur Überwachung des Zustandes und der Veränderungen des alpinen PF wurde in der Schweiz in den vergangenen zwei Jahrzehnten ein Monitoring-Netzwerk (PERMOS) aufgebaut das auf drei Komponenten basiert:



### Temperaturmessung

**Ziel:** Erfassung der Temperaturen im PF in unterschiedlichen Tiefen

**Methode:** direkte Messung der Temperaturen über Bohrlöcher



### Geelektrische Messung

**Ziel:** Erfassung des relativen Eisgehaltes im PF

**Methode:** Messung des elektrischen Widerstandes bzw. der elektrischen Leitfähigkeit im Untergrund



### Geodätische Messung

**Ziel:** Erfassung der Kriechgeschwindigkeit von Blockgletschern

**Methoden:** Vermessung von Blockgletschern über:

- jährliche terrestrische geodätische Messungen: ermöglichen Erfassung interannueller Veränderungen
- kontinuierlich aufzeichnende GNSS-Sensoren (GNSS = Global Navigation Satellite System): ermöglichen zusätzlich Erfassung intraannueller Veränderungen [3]

## 3 Ergebnisse

### Zunehmende Mächtigkeit der Auftauschicht (ALT)

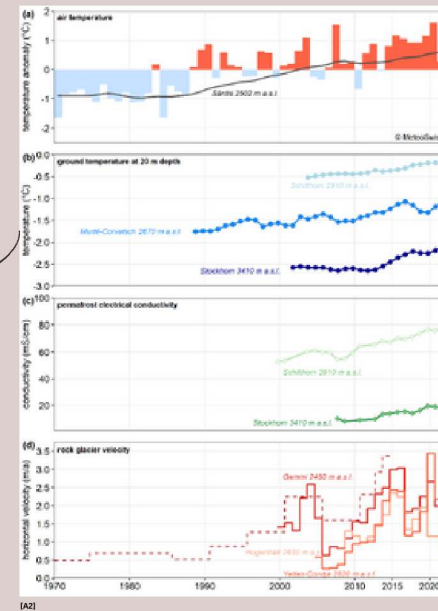
- die oberflächennahen Bereiche reagieren auf kurzfristige Schwankungen der meteorologischen Bedingungen (v.a. Lufttemperatur und Schneebedeckung)
- dennach unterliegt die ALT ausgeprägten intra- und interannuellen Schwankungen (Dezimeter bis mehrere Meter) [4]

### Zunehmende Temperaturen im PF-Körper

- die Schwankungen der oberflächennahen Temp. werden mit zunehmender Tiefe gefiltert und verzögert
- Temp. in Tiefe von 10m:
  - saisonale Unterschiede messbar
  - zeitliche Verzögerung: etwa halbes Jahr
- Temp. unterhalb der sog. Zero Annual Amplitude (Alpen: 15 - 20m Tiefe):
  - keine saisonale Unterschiede messbar, sondern nur langfristige Entwicklungen → wichtige Klimaindikatoren
  - zeitliche Verzögerung: Jahre bis Dekaden
- Erwärmungstrend in kaltem PF stärker als in warmen PF [5]

### Warum erwärmt sich kalter PF stärker als warmer PF?

- bei der Erwärmung von eisreichem Untergrund mit Temp. nahe des Schmelzpunktes "fließt" Energie in den Phasenwechsel von Eis zu flüssigem Wasser
- dennach bleiben die Temp. konstant (Zero Curtain) und die Änderungen im PF sind nicht über Temperaturmessungen erfassbar
- über Messung des elektrischen Widerstandes können die Veränderungen im PF jedoch erfasst werden [6]



### Zunehmender Eisverlust im PF

- Zunahme der elektrischen Leitfähigkeit im Untergrund
- Hinweis auf Anstieg des Flüssigwassergehaltes in Folge von Eisdegradation [7]

### Warum ist der Eisverlust problematisch?

- Eis in Klüften und Spalten von Fels und Lockermaterial hat eine stabilisierende Wirkung auf den Untergrund
- schmilzt das Eis, verliert der Untergrund seinen "Kitt" und die Gefahr von Sturzereignissen und Hangbewegungen steigt [8]

### Blockgletscher werden schneller

- Zunahme der horizontalen Kriechgeschwindigkeit von BG auf bis zu mehrere Meter pro Jahr
- aber: ausgeprägte interannuelle Schwankungen und regionale Unterschiede
- Hinweis auf zunehmende PF-Temperaturen und erhöhtem Flüssigwassergehalt zwischen Permafrosttafel und Scherhorizont [9]

### Was ist ein Blockgletscher (BG)?

- BG sind ganzjährig gefrorene Schutt-Eis-Gemenge die sich langsam hangabwärts bewegen
- BG sind einer der wenigen zuverlässigen visuellen Indikatoren für das Auftreten von PF in den Alpen [10]

## 4 Fazit

- alle Beobachtungsgrößen (Temperaturen, Eisgehalt und Kriechgeschwindigkeit) deuten auf eine zunehmende Erwärmung und Degradation des alpinen PF hin
- aber: selbst in den relativ gut erforschten Schweizer Alpen gibt es erst eine kontinuierliche Messreihe, welche die zur klimatischen Interpretation verwendete Mindestdauer von 30 Jahren abdeckt (Blockgletscher Murtel-Corvatsch)
- somit gilt: die Ergebnisse müssen vorsichtig interpretiert werden und es Bedarf weiterer langfristiger Messreihen die es ermöglichen langfristige Trends von kurzfristigen Schwankungen unterscheiden zu können [11]