Leitfaden für die Praxis

Autor(en): **Bommer, Christian / Phillips, Marcia**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **136 (2010)**

Heft 5-6: **Bauen im Permafrost**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-109563

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

LEITFADEN FÜR DIE PRAXIS

Seit Herbst 2009 gibt es einen neuen Leitfaden für die Ausführung und den Unterhalt von Gebirgsinfrastrukturen.[1] Er zeigt, wie Bau-, Sanierungs- und vor allem Unterhaltskosten gesenkt werden können. Mit den aufgeführten Methoden und Systemen sind das Schadenpotenzial und die verbleibenden Risiken besser abschätzbar. Ausserdem werden die Lebensdauer und die Sicherheit der Hochgebirgsinfrastrukturen im schmelzenden Permafrost erhöht.

Schmelzender Permafrost als Baugrund kann zu differenziellen Setzungen und Kriechdeformationen und somit zur Gefährdung der Tragsicherheit von Hochgebirgsinfrastrukturen führen. Ursachen für die Veränderungen im Permafrost sind die Klimaerwärmung, die Bauaktivität und die spätere Nutzung der Bauten. Werden diese Einflüsse auf die Baugrundwerte eines eishaltigen Untergrundes in der Bemessung eines Tragwerks nicht berücksichtigt, verkürzt dies dessen Lebensdauer. Die Vielzahl an Bauten im Permafrost, die vorzeitig angepasst oder neu errichtet werden mussten, bestätigen dies.
Mit Ausnahme der Richtlinie «Lawinenverbau im Anbruchgebiet»[2] war bis vor kurzem kein Leitfaden für die Ausführung und den Unterhalt von Gebirgsinfrastrukturen im Permafrost erhältlich. Wegen der sozioökonomischen Relevanz von Gebirgsinfrastrukturen wurde jetzt ein Leitfaden für Bauten im Permafrost[1] veröffentlicht.

PERMAFROST TAUT AUF

Zusätzlich zum beobachteten Erwärmungstrend in den Alpen nehmen durch die Klimaveränderung die Niederschlagsmengen im Sommer ab resp. im Winter zu.[3] Ausserdem sind vermehrt Starkniederschläge und Hitzewellen zu erwarten.[4] Für den Gebirgspermafrost resultieren daraus mächtigere Auftauschichten und eine Abnahme der Scherfestigkeit des Baugrunds. Die Folgen sind eine Zunahme von Felsstürzen, von langsamen und schnellen Massenbewegungen sowie des Anfalls von Schutt, der nicht durch Eis verfestigt ist. Diese Faktoren in Kombination mit der Bauaktivität und Nutzung von Gebäuden in Permafrostbereichen bewirken Baugrundsveränderungen und müssen in der Bemessung des Tragwerks berücksichtigt werden.

EISGEHALT IM BODEN ABKLÄREN UND ÜBERWACHEN

Soll ein Projekt in einem potenziellen Permafrostgebiet realisiert werden, muss der Eisgehalt abgeklärt werden. Wird Permafrost nachgewiesen und das Tragwerk darauf abgestimmt, verlängert dies die Lebensdauer, und grosse Sanierungs- oder Neubaukosten können verhindert werden.
Gebirgspermafrost kann auf unterschiedlichen Höhen und in verschiedenen Geländetypen vorkommen. Um die Permafrostverteilung abzuklären, ist die systematische Anwendung von speziellen Nachweismethoden zwingend notwendig. Dafür werden schrittweise Methoden mit steigender Aussagekraft und zunehmendem Aufwand eingesetzt: In einer ersten Phase werden bekannte Informationen über den Standort gesammelt, das betreffende Gelände beurteilt und Messungen durchgeführt. Um einen konkreten Nachweis über ein Permafrostvorkommen zu erhalten, muss in einer zweiten Phase der Baugrund durch Sondierschlitze oder Bohrungen untersucht werden. Messungen müssen auch während der Nutzung der Bauten durchgeführt werden, denn die Ursache und das Ausmass eines potenziellen Schadens sind schwierig zu erfassen, wenn ein präzises Überwachungssystem fehlt. Systematische

AM PROJEKT BETEILIGTE

Auftraggeber: armasuisse Immobilien und Bundesamt für Verkehr BAV
Co-Autoren Leitfaden: Hans-Rudolf Keusen, Geotest AG; Philipp Teysseire, Teysseire & Candolfi AG
Fachliche Begleitgruppe: Rolf Keiser, armasuisse Immobilien; Urs Dietrich, BAV; Charly Wuilloud, Leiter Sektion Naturgefahren, Kanton Wallis
Projektpartner: Geotest AG, Schweizer Alpen-Club (SAC), Kanton Wallis

BEZUG LEITFADEN «BAUEN IM PERMAFROST»

www.slf.ch/dienstleistungen/buecher/9819.pdf, e-shop@wsl.ch, www.wsl.ch/eshop



01

Aufzeichnungen und Auswertungen der Messungen von integralen Überwachungssystemen, die gleichzeitig die Entwicklung des Permafrostbaugrunds und die Interaktion mit dem Bauwerk aufzeigen, können als Frühwarnsystem dienen und damit das Risiko eines Unfalls, Schadens, Betriebsausfalls oder einer Nutzungseinschränkung senken. Hierzu müssen Messfrequenzen und Alarmwerte festgelegt, sichernde Sofortmassnahmen beschrieben und Verantwortlichkeiten definiert werden. Ausserdem sollten wichtige Messsysteme austauschbar oder redundant vorhanden sein, um die Überwachung jederzeit zu gewährleisten.

BEWEGLICHER BAUGRUND – ANGEPASSTES TRAGWERK

Die Standortwahl beeinflusst das Fundations- und Verankerungskonzept von Infrastrukturen im Permafrost. Wenn der anstehende Baugrund eisreich ist, sollte eine Standortverschiebung ins Auge gefasst werden – ist dies nicht möglich, muss eine angepasste technische Lösung angewandt oder aber auf das Projekt verzichtet werden.
Mit dem Standort ergibt sich die Konstruktion für das Bauwerk. Flexible, sich den Bewegungen des Untergrunds anpassende oder nachjustierbare Systeme verlängern die Lebensdauer. Querverschiebbare Seilbahnstützen beispielsweise werden in einzelnen Skigebieten bereits standardmässig gebaut. Kriechbewegungen können durch auf Stahlschienen verschiebbaren Stützen korrigiert werden (Abb. 1). Lawinenverbauungen[2] werden in stark kriechenden Hängen vermehrt als Schneenetze mit Pendelstützen und schwimmenden Grundplatten aus Stahl ausgeführt (vgl. S. 24 ff.).
Ein weiteres flexibles Fundationssystem ist die Drei-Punkte-Lagerung[5]. Dieses statisch bestimmte System erzeugt keine Schnittkraftumlagerungen, Zwängungen und damit Deformationen. Risse oder im schlimmsten Fall die Zerstörung des Tragwerks werden verhindert. Auftretende Setzungen können durch Anheben des Tragwerks z.B. mit hydraulischen Pressen und eingelegten Stahlplatten korrigiert werden (vgl. S. 27 ff.).

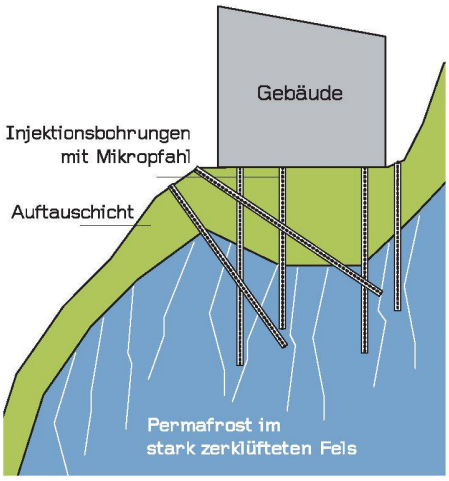
01 Querverschiebbarer Stützenfuss auf einem Einzelfundament aus Beton mit eingelassenen Stahlschienen (Foto: SLF)

ABWÄRME VERHINDERN

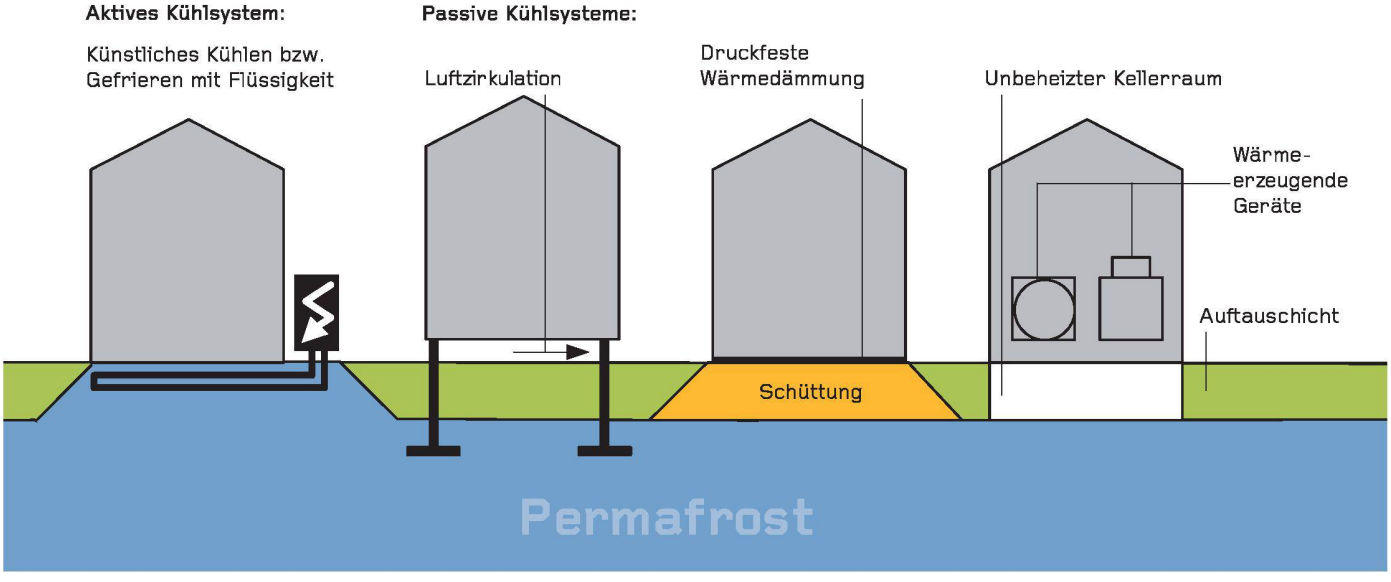
Sind der Standort und das Tragwerk festgelegt, wird der Permafrost an dieser Stelle geschützt, indem der Wärmefluss von der Infrastruktur in den Untergrund mit einer druckfesten Wärmedämmung reduziert wird. Als Alternative bieten sich ein Luftzwischenraum oder unbeheizte Kellerräume, die keine wärmeerzeugenden Geräte enthalten, an. Diese einfachen, Permafrost erhaltenden passiven Massnahmen sowie aktive Kühlsysteme kommen im Hochgebirge verbreitet zum Einsatz (Abb. 3). Kühlsysteme wie Thermosyphons, die in polaren Regionen allgegenwärtig sind, werden bis heute bei uns nur selten eingesetzt.

FAKTOR «EISHALTIG» STATT «EISFREI»

Aushubarbeiten in einem eishaltigen Baugrund hängen von anderen Faktoren ab als diejenigen im eisfreien Boden. Für einen Aushub in eishaltigem Fels benötigt man beispielsweise mehr Sprengmittel und engere Bohrabstände. Böschungen müssen in den Sommermonaten mit Vlies abgedeckt werden, um die Erwärmung des Permafrosts zu reduzieren und Instabilitäten zu vermeiden. Auch der Böschungswinkel ist massgeblich vom Eisgehalt abhängig, da Eis zementierend wirkt – vergleichbar mit der Kohäsion eines feinkörnigen Bodens.
Einzelne Baugrundverhältnisse sind vergleichbar und lassen ähnliche Schlüsse zu: Die Ausbruch-, Sicherungs- und Ausbautechnik im eisreichen, zerklüfteten Fels mit einer Temperatur nahe 0 °C kann beispielsweise mit derjenigen im ungefrorenen Lockergestein verglichen werden. Unter diesen Gegebenheiten kann für Tunnels und Stollen im Hochgebirge ein Schildmaschinenvortrieb angewendet werden.
Wichtig ist bei allen Massnahmen, dass das verwendete Material den Permafrostbedingungen angepasst wird. Schlecht abgestuftes oder feinkörniges Lockergesteinsmaterial und stark zerklüfteter Fels beispielsweise werden ausgehoben und durch einen gut abgestuften, frostsicheren Kiessand ersetzt. Netzbewehrungen oder Geotextilien, in frostsicherem Material mit Zementeinstreuung eingelegt, bewirken eine Tragfähigkeitserhöhung. Ebenso kann in zerklüftetem Fels eine permafrostkonforme Injektions- und Vernagelungstechnik die erforderliche Verbesserung der Baugrundtragfähigkeit erreichen (Abb. 2). Bei Verankerungen im Permafrost sollten die Bohrungen mit einer Luftspülung ausgeführt werden – mit einer Wasserspülung würde der Permafrost schmelzen. Ausserdem ist dann ein guter Verbund mit dem Untergrund sichergestellt. Eine Eisbildung zwischen dem Verankerungskörper und der Bohrlochwand wird



02



03



04



05

verhindert, wenn Injektionsverankerungen an einem Tag gebohrt, versetzt und injiziert werden. Damit das Injektionsgut nicht gefriert, bevor die gewünschte Festigkeit erreicht ist, wird der Mörtel vorgeheizt. Für schlecht pumpbaren Ankermörtel werden Schläuche mit einem Durchmesser von über 15 mm verwendet, oder man gibt ein Fliessmittel bei. Bei zirkulierendem Wasser im Untergrund wird dichter, frostbeständiger Mörtel eingesetzt, damit die Feinanteile eines injizierten Mörtels nicht ausspülen und die Tragfähigkeit einer Verankerung reduziert würde.

PROJEKTSPEZIFISCHE ABKLÄRUNGEN WEITERHIN NÖTIG

Der vom Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) und Projektpartnern entwickelte, praxisorientierte Leitfaden für Bauten im Permafrost beschreibt den Stand des Wissens der vielschichtigen Problematik und zeigt, wie bei der Projektierung und Ausführung vorgegangen wird. Auch im Hochgebirgspermafrost verlangt jedes Bauprojekt nach speziellen technischen Lösungen. Es ist deshalb nicht möglich, allumfassende «Rezepte» für nachhaltiges Bauen im Permafrost zu verfassen. Für jedes Bauwerk muss projektspezifisch entschieden und eine eigene Lösung gefunden werden.

Christian Bommer, M.Sc. Bau-Ing., Projektingenieur, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), bommer@slf.ch

Marcia Phillips, Geografin und Leiterin der Gruppe Permafrost und Schneeklimatologie am WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), phillips@slf.ch

Anmerkungen

1 C. Bommer, M. Phillips, H.-R. Keusen, P. Teysseire: Bauen im Permafrost. Ein Leitfaden für die Praxis. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf, 2009

2 S. Margreth: Lawinenverbau im Anbruchgebiet, Technische Richtlinie als Vollzugshilfe, Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Davos, 2007

3 Bei der Temperatur ist über die letzten 30–100 Jahre ein klarer Erwärmungstrend festzustellen, bei den Niederschlägen jedoch kann dies für dieselbe Trendperiode nicht gesagt werden
Link: www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_heute/trends_an_stationen.html

4 OcCC: Klimaänderungen in der Schweiz 2050: Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. OcCC Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung, Bern, 2007

5 M. Phillips, F. Ladner, M. Müller, U. Sambeth, J. Sorg, P. Teysseire: Monitoring and reconstruction of a chairlift midway station in creeping permafrost terrain, Grächen, Swiss Alps. Cold Regions Science and Technology, Volume 47, Issues 1-2, 2007. Seiten 32–42

6 L. Arenson, M. Phillips, S.M. Springman: Geotechnical Considerations and Technical Solutions for Infrastructure in Mountain Permafrost. In M.I. Krugger and H.P. Stern (Editors), New Permafrost and Glacier Research, 2009

02 Schemaschnitt durch zerklüfteten Permafrostfels mit Injektionsbohrungen und Mikropfählen zur Verbesserung der Gesamtstabilität und Tragfähigkeit des Baugrunds (Grafik: SLF)
03 Schematische Darstellung von Kühlsystemen (Grafik: SLF, angepasst nach Arenson[6])
04 Eisreiches Lockermaterial in einem Sondierschlitz (Fotos: Leitfaden «Bauen im Permafrost»)
05 Klufteis in der Anrissfläche eines Felssturzes am Urner Gemsstock, 2960 m ü. M.