

Bauen im Permafrost

Christian Bommer, MSc. Bauing
Dozent für Geotechnik
IBU Institut für Bau und Umwelt
HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz

IMS Brixen, 25.10.2012

HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL
FHO Fachhochschule Ostschweiz

Bilder: © 1999, SLF

Inhalt

- **Motivation**
 - Problematik
- **Wichtigste Erkenntnisse**
 - Standortwahl
 - Tragwerkskonzept
 - Technische Lösungen
 - Überwachung
 - Kosten
- **Schlusspunkte**

«Bauen im Permafrost» | IMS Brixen 2012

2

Motivation

- **Problematik**
 - Kalter, z.T. **eishaltiger Baugrund**, potentiell veränderliche geotechnische Eigenschaften
 - **Änderung der Baugrundeigenschaften** durch Klimaänderung, Bauarbeiten und Nutzung
 - Erhöhte **technische und logistische Herausforderungen**
 - **Überwachung** nötig
 - **Hohe Kosten** bei Schäden und Sanierungsarbeiten
 - Jedes **Bauprojekt einzigartig**




→ Leitfaden **Bauen im Permafrost** verfassen (2010), da keine Richtlinien / Empfehlungen für Bauten im alpinen Permafrost vorhanden

«Bauen im Permafrost» | IMS Brixen 2012 3

Wichtigste Erkenntnisse

- **Standortwahl**
 - **Vorstudie** wichtig, zeit- und kostenaufwändig
 - **Abklärungen Permafrostvorkommen** (ja / nein)
 - Generelle Abklärungen (Hinweiskarten, bestehende Daten PERMOS/ IMIS, Fernerkundung, Modelle)
 - Beobachtungen im Gelände (Geomorphologie, Geologie)
 - Messungen im Gelände (Bodentemperatur, Vermessung, Geophysik)
 - Nachweis im Gelände (Sondierschlitze, Bohrungen)
 - **Standortverschiebung, Bauverzicht** (eisreicher Baugrund, Naturgefahren)

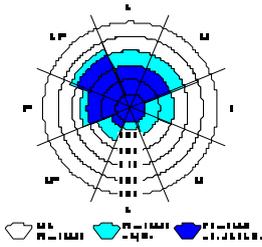



Diagramm angepasst nach Haeblerli 1975

«Bauen im Permafrost» | IMS Brixen 2012 4

Wichtigste Erkenntnisse

- **Standortwahl: Geotechnische Eigenschaften**

Gesteinsgefüge	Schematische Darstellung	Volumetrischer Eisgehalt (Sättigungsgrad mit Eis)	Mechanisches Verhalten im gefrorenen Zustand
Quasisotrop (ähnliche Eigenschaften in allen Richtungen) Lockergestein mit viel Eis		Eisreich 55 - 85 % (übersättigt)	Ausgeprägtes Kriechen unter Belastung (Schwerkraft, Auflast)
Lockergestein mit wenig Eis		Eisarm 0 - 20 % (ungesättigt-gesättigt)	Kriechen unter Belastung
Anisotrop (Richtungsabhängige Eigenschaften) Geklüfteter Fels mit viel Eis		Eisreich 10 - 30% (gesättigt)	Kriechen auf Klüften
Geklüfteter Fels mit wenig Eis		Eisarm 0 - 10 % (ungesättigt)	Geringe Probleme, evt. Kriechen auf ungünstig liegenden Klüften

Tabelle angepasst nach Keusen

«Bauen im Permafrost» | IMS Brixen 2012
5

Wichtigste Erkenntnisse

- **Tragwerkskonzept**
 - Geeignete **Standortwahl**
 - Robustes, angepasstes **Fundations- und Verankerungskonzept** mit eingeplanten **Redundanzen**
 - **Tragende Elemente / Bauteile** sind im ungestörten Permafrostkörper einzubinden
 - **Auswirkungen der Klimaerwärmung** auf den Baugrund während der Lebensdauer einer Baute berücksichtigen (Prognose)
 - Zeitabhängige **Kriechprozesse** (Deformationen) berücksichtigen
 - **Deformationen** während der **Nutzungsdauer** dürfen nicht zu Einschränkungen führen (Gebrauchstauglichkeit)
 - **Naturgefahren** einbeziehen, Schutzmaßnahmen planen, Restrisiko abschätzen




«Bauen im Permafrost» | IMS Brixen 2012
6

Wichtigste Erkenntnisse

Technische Lösungen

•Aushub

- **Lockergestein:** Grösserer Bagger, Abbauhammer oder Sprengaushub
- **Fels:** Abbauhammer oder Sprengaushub (erhöhte Sprengstoffmenge)



•Baumaterialien

- **Mörtel und Beton:** Abbindeprozess durch Zusatzstoffe beschleunigen, Erwärmung Anmachwasser, Verwendung von Spezialmörtel
- **Rückfüllarbeiten & Materialaustausch:** Frostbeständiges Material verwenden



Wichtigste Erkenntnisse

•Fundationen

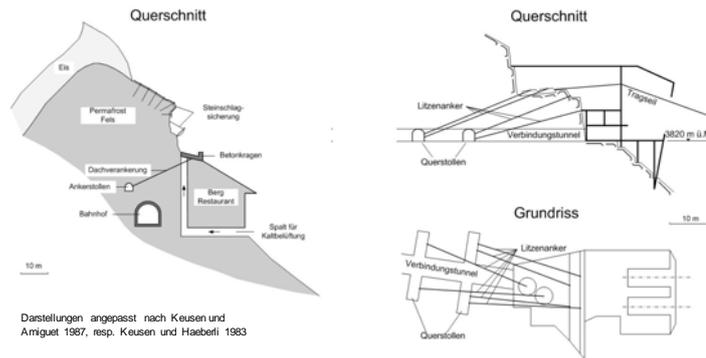
- **Gut tragfähiger Baugrund:** Oberflächennahe Fundationen (Einzel- oder Streifenfundamente)
- **Schlecht tragfähiger Baugrund und sehr grosse Lasten:** Flächen- oder Tiefenfundation (Pfähle), steife Bauweise



Wichtigste Erkenntnisse

•Verankerungen

- **Ausführung** erfordert **Erfahrung**
- **Verankerungsstollen** oder **–schacht** für grosse Lasten mit hohem Schadenpotenzial
- **Reibungsverankerung** für kleinere Lasten mit geringem Schadenpotenzial



Wichtigste Erkenntnisse

•Flexible Systeme

- **Verschiebbare Seilbahnstützen:** Deformationskorrekturen quer zur Seilachse möglich
- **Drei Punkte Lagerung:** keine Zwängungen (statisch bestimmtes System), Deformationskorrekturen möglich
- **Lawinverbauung:** Schneenetze mit schwimmender Grundplatte und beweglichen Stützen auf kriechendem Permafrost



Schneenetze im Permafrost

Wichtigste Erkenntnisse

- **Verminderung Wärmeeintrag**
 - Druckfeste **Wärmedämmung** zwischen warmer Infrastruktur und kaltem Baugrund
 - **Bauliche Massnahmen:** Lufthohlraum, ungeheizte Kellerräume
 - **Aktive** und **passive Kühlsysteme**
 - **Modifikation der Bodenoberfläche:** Vliesabdeckung, Veränderung der Schneedecke, um Permafrost zu erhalten

Bauten

Darstellungen angepasst nach Atenson et al. 2009

«Bauen im Permafrost» | IMS Brixen 2012 11

Wichtigste Erkenntnisse

- **Überwachung**
 - **Vor, während** und **nach** der **Ausführung**
 - Regelmässige Überwachung kann als **Frühwarnsystem** dienen
 - **Überwachungssysteme, Messfrequenz** und **-präzision** (Bauablauf, Deformationsempfindlichkeit)




«Bauen im Permafrost» | IMS Brixen 2012 12

Wichtigste Erkenntnisse

•Höhere Bau-, Überwachungskosten

- **Transportkosten** (z.B. Helikopter, Materialseilbahn)
- Grösserer **technischer Aufwand** (z.B. Mörtel heizen, Schutzbauten erstellen, Eis entfernen oder schützen)
- Extreme **Witterung**, kurze Sommersaison, Höhenlage
- Exponiertes **Gelände**
- Auf wändigere **Überwachung** (dynamische, zeitabhängige Prozesse)



Schlusspunkte

•Zusammenfassung

- Erfolgreiche Realisation eines Bauprojekts ist eine technische und logistische Herausforderung für alle Beteiligten
- Vorstudie, Standortwahl und Tragwerkskonzept sind von zentraler Bedeutung für nachhaltige Bauobjekte
- Systematische Überwachung erhöht die Sicherheit während allen Projektphasen, kann als Frühwarnsystem dienen
- Jedes Bauprojekt im Hochgebirge ist einzigartig, deshalb spezielle, angepasste technische Lösungen erforderlich
- Höhere Bau- und Überwachungskosten
- Generelle «Rezepte» für nachhaltiges Bauen im Permafrost sind nicht zweckmässig, aufgrund der hohen Komplexität
- **Leitfaden Bauen im Permafrost** zeigt mögliche Lösungen auf, basiert auf einem aktuellen, fachlichen und technischen Wissensstand, kein Anspruch allumfassend zu sein

Herzlichen Dank

STATISTISCH GESEHEN ...

... KLETTERT MIT JEDEM
GRAD KLIMAERWÄRMUNG
DIE NULLGRADGRENZE
UM 150 METER HÖHER
UND BEDROHT DEN PER-
MAFROST IN NORDHÄN-
GEN ÜBER 5000 METER,
WAS VERMEHRT FELS-
STÜRZE AUSLÖSEN KANN.

