

DEM BERG DEN PULS GEFÜHLT

Mit selbst entwickelten Sensoren untersucht ein Team von Geografen und Informatikern Veränderungen im hochalpinen Permafrost. Das Projekt PermaSense ist eine einmalige Synergie zwischen Wissenschaft und Engineering. Von Michael Ganz

Der Einsatzort liegt auf 3450 Metern über Meer am Hörnligrat, rund dreiviertel Stunden Kletterei von der Hörnlihütte in Richtung Matterhornspitze. Im Juli 2008 ging eine Gruppe seil- und helmbewehrter Zürcher Geografen dort erstmals ans Werk. Fünf Tage lang schufteten die Forscher in Fels und Eis. Das schwere Werkzeug liess sich das Team per Hubschrauber auf den Hörnligrat liefern, Bohrmaschinen, Felschrauben, Drahtseile, Kabel, einen Stromgenerator mit Ersatzbenzin. Und natürlich auch jene wertvollen Dinge, die es zu installieren galt: modernste Sensoren aus eigener Produktion, die ihre vielen Messdaten gleich noch in die Hochschullabors übermitteln sollten.

2001 hatte Stephan Gruber vom Geografischen Institut der Universität Zürich erste Messungen zur Untersuchung der räumlichen Muster und Veränderungen von Permafrost im steilen Fels gemacht. Im Jahrhundertssommer 2003 machte der schwindende Permafrost dann unerwartet Schlagzeilen: Am Matterhorn lösten sich ganze Felsflächen und donnerten zu Tal. «Von da an bekam die Untersuchung von Permafrost im Fels, die als Grundlagenforschung begonnen hatte, sehr rasch angewandte Relevanz», sagt Gruber. 2005 dann machten sich die Zürcher Geografen gemeinsam mit Computerwissenschaftlern der Universität Basel daran, ein modernes und zuverlässiges Messsystem für Permafrost im Hochgebirge – PermaSense – zu entwickeln.

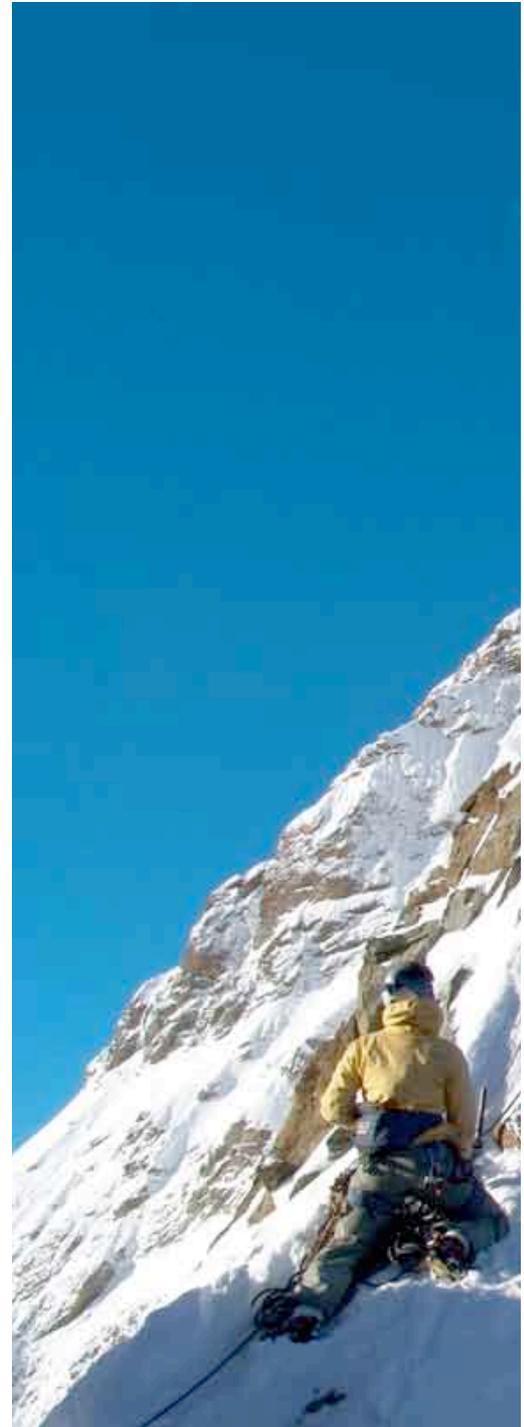
Was ist Permafrost? Die Wissenschaft hat sich auf eine einfache Formel geeinigt. Permafrost nennt man Erd-, Schutt- oder Felsmaterial, dessen Temperatur während eines Jahres null Grad Celsius nicht übersteigt. Eis in Gesteinsporen und Felsritzen kann den Sommer also überdauern, ohne zu schmelzen. Im Alpenraum beginnt Permafrost grob gesagt oberhalb der Baumgrenze. Und genau wie in

den Ländern des hohen Nordens, verlangt das Bauen auf gefrorenem Boden auch hier besondere Vorsicht. «Früher», sagt Gruber, «hat man das oft nicht berücksichtigt. Frühe Bauten auf dem Jungfrauoch beispielsweise hatten ein beheiztes Fundament, damit der Beton nicht gefror. Dafür schmolz der Permafrost.» Heute macht man genau das Gegenteil. Teile der Bauten werden künstlich gekühlt, damit das Eis im Fels, in dem sie stehen, nicht schmilzt.

TAUWETTER NACH JAHRTAUSENDEN

Der Klimawandel gefährdet das subtile Gleichgewicht des Permafrosts. Dies ganz besonders in den Bergen, denn hier bietet das stark coupierte Gelände eine grosse Angriffsfläche für Veränderungen. «In den Bergen können sich die Verhältnisse deshalb sehr rasch und vor allem sehr unerwartet ändern», sagt Gruber. Und Veränderungen im Permafrost haben unter Umständen schwerwiegende Folgen. Bis anhin durfte der Mensch sich, wenn er in den Bergen Häuser und Dörfer, Strassen und Brücken, Seilbahnmasten und Clubhütten baute, auf uralte Erfahrungswerte verlassen. Wo es seit Generationen keinen Felssturz oder Steinschlag gegeben hatte, konnte man sich in der Regel sicher fühlen. «Doch mit der zunehmenden Erwärmung der Erdatmosphäre», sagt Stephan Gruber, «können auch Felspartien auftauen, die möglicherweise seit Hunderttausenden von Jahren nie mehr aufgetaut waren. Da müssen wir mit Überraschungen rechnen.» Es gilt also, neue Gefahren zu antizipieren und mögliche Szenarien zu berechnen – angewandte Forschung, die durch Messungen des PermaSense-Projekts unterstützt wird.

Der andere Teil des Projekts ist weiterhin die Grundlagenforschung. Wie funktioniert Permafrost wirklich, und wie reagiert er auf Veränderung der Umwelt? Um solche Fragen



Anspruchsvolle Forschung bei Wind und Schnee:



Geografen der Universität Zürich untersuchen den Permafrost am Hörnligrat/Matterhorn.

zu beantworten, baute das PermaSense-Team um Stephan Gruber eine erste Generation von Messgeräten mit drahtloser Datenübermittlung. «Wir haben wochenlang konstruiert und gelötet», erinnert er sich. Im Herbst 2006 fuhr man aufs Jungfraujoch und brachte die ersten Sensoren im steilen Fels gleich unterhalb des alten Observatoriums in Position. Die Sensoren funktionierten, aber die drahtlosen Sender machten schon nach einer Woche Probleme. Was tun? Die Geografen fragten beim Institut für Technische Informatik und Kommunikation der ETH Zürich an. «Die waren begeistert und brachten genau jene Expertise, die uns fehlte», sagt Gruber. Auf den Werkbänken und Bildschirmen der ETH entstand eine zweite Generation spezialisierter Hard- und Software, um die komplexen Messungen zu steuern. In Klimakammern wurden die Messgeräte auf ihren Einsatz in eisiger Höhe hin geprüft und mit einer Installation auf dem Dach der Hochschule die drahtlose Kommunikation der Messdaten getestet. Die Sache funktionierte nun tatsächlich besser und war wesentlich zuverlässiger.

EIN LOCH, ZWEI STUNDEN, DREI AKKUS

Die Messgeräte bestehen aus zwei Komponenten: aus Sensoren und drahtlosen Sendern. Die Sensoren gibt es in mehreren Variationen. Da sind Thermistorenketten, die, in offenen Felsklüften hängend, die Umgebungstemperatur messen. Oder Eis- und Wasserdrucksensoren, die Rückschlüsse darauf geben, wie Wasser und Eis zu Felsbewegungen führen. Dann gibt es Abstandsmesser, die verfolgen, ob sich Felsritzen vergrössern, und kaum fingerdicke Sensorstäbe, in denen sich winzige Messelektronik verbirgt. Sie werden bis zu 90 Zentimeter tief in den Fels getrieben. «Das ist das Äusserste, was man mit einer Handbohrmaschine noch bewältigen kann», sagt Stephan Gruber. «Ein solches Loch zu bohren dauert oft zwei Stunden und benötigt drei volle Akkus.» Die Sensorstäbe messen neben der Temperatur auch die elektrische Leitfähigkeit des Felses. «Daran erkennen wir, ob das Wasser in den Poren des Gesteins gefroren ist oder nicht.»

Jeweils mehrere Sensoren liefern ihre Messdaten via Kabel an einen drahtlosen Sender. Am Hörnligrat sind 15 solcher Sender instal-



Mit empfindlichen Sensoren messen die PermaSense-Forscher kleinste Veränderungen im hochalpinen Gelände.



nen Fels.

liert. Geschützt vor Wasser, Blitz- und Stein-
schlag kleben die Kästchen am Fels. Sie beher-
bergen einen Computer, der die Daten verar-
beitet, ein Funkmodul, das diese weiterschiebt,
und eine zündholzschachtelgrosse Batterie,
die auf Temperaturen bis minus 55 Grad Cel-
sius und auf drei Jahre Betriebszeit ausgelegt
ist. Die so gewonnenen Messdaten gelangen
zu einer dritten Komponente, dem zentralen
Empfänger. Er speist die Bits und Bytes ins
Internet ein. Am Matterhorn, wo keine Infra-
struktur in der Nähe ist, geschieht dies mit
einem eingebauten Handy; auf dem dicht bebau-
ten Jungfrauoch hingegen gibt es direkten
Zugang zum Internet.

«Unser Ziel ist es, die beiden Netzwerke drei
Jahre lang laufen zu lassen, ohne sie vor Ort
unterhalten zu müssen», sagt Stephan Gruber.
Zurzeit steigen die PermaSense-Forscher noch
zwei- bis dreimal jährlich in die Felsen, um
an den Mess- und Sendeanlagen Wartungsar-
beiten durchzuführen. Im Winter musste sich
ein Team gar mit dem Hubschrauber auf den
Hörnligrat fliegen und am Windenseil abset-
zen lassen, um einen technischen Fehler an
der Anlage zu beheben. «Genau solche aufwen-
digen Einsätze», sagt Gruber, «wollen wir in
Zukunft vermeiden.» Die Entwicklung der
Messtechnik, das Engineering, verschlingt
hohe Summen. Das Gesamtbudget des Perma-
Sense-Projekts liegt denn auch bei über einer
Million Schweizer Franken.

SENSOREN KOMMERZIELL VERTREIBEN

Nach fast vier Jahren Aufbauarbeit wird es in
der kommenden Zeit vermehrt darum gehen,
die Messdaten auszuwerten. «Bis anhin geschah
mit diesen Daten noch nicht viel, weil wir vor
allem damit beschäftigt waren, die Technologie
zum Laufen zu bringen, zu schauen also, ob die
Daten überhaupt vom Berg zu uns herunter-
kommen», erklärt Stephan Gruber. Seit kurzem
besteht nun ein enger Kontakt zum Labor für
Verteilte Informationssysteme (LSIR) der ETH
Lausanne. Hier sind Forscher mit dem nötigen
Know-how am Werk, um die Messungen in einer
passenden Datenbank zu versorgen und einer
Auswertung zugänglich zu machen.

Die disziplin- und institutionsübergreifende
Zusammenarbeit ist für PermaSense unabding-

bar. Sie ist mitunter aber auch schwierig. «Geo-
und Ingenieurwissenschaften sind zwei sehr
unterschiedliche Welten, zwischen denen es
ständig zu wechseln gilt», sagt Gruber. «Es
braucht sehr viel interdisziplinären Dialog,
und dieser wiederum erfordert viel Zeit. Auf
der anderen Seite ist es genau das Zusammen-
spiel von Geo- und Ingenieurwissenschaften,
das dieses Projekt auszeichnet, Erfolg bringt
und den Wert des gut eingespielten Teams aus-
macht.»

Konkrete Resultate für die Geowissenschaft
bringt PermaSense den drei Projektmitarbei-
tenden der Universität Zürich erst seit kurzem.
Seit Sommer 2008 ist die Anlage am Matterhorn
online, seit dem Frühjahr 2009 auch jene am
Jungfrauoch. Stephan Gruber hat aber bereits
weitere Pläne. Er und seine Kollegen wollen
die Messanlagen mit zusätzlichen Abtastgerä-
ten bestücken. Seismik- und Akustiksensoren
sollen die Bewegungen des Bergs registrieren,
ein programmierbarer Fotoapparat Bilddaten
sammeln. Langfristig hofft Gruber, ein Unter-
nehmen zu finden, das die PermaSense-Sen-
soren in Serie baut und kommerziell vertreibt.
So bliebe die entwickelte Technologie auch
nach dem Projektende im Jahr 2013 für die
Umweltforschung verfügbar.

Denn ganz abgesehen von der Grundlagen-
forschung liegt in PermaSense viel praktisches
Potenzial. Gruber: «Menge, Bedeutung und Wert
von Infrastruktur in den Bergen nehmen stän-
dig zu; gleichzeitig verändert sich mit dem Kli-
mawandel der Charakter vieler Naturgefahren,
und obendrein wächst unser subjektives Sicher-
heitsbedürfnis. Die Budgets für entsprechende
Massnahmen werden jedoch meist nicht grösser.
In diesem Problemfeld kann Technologie
wie jene von PermaSense dazu beitragen, ein
kostengünstiges und verlässliches Frühwarn-
system zu schaffen – und birgt damit freilich
auch grosses kommerzielles Potenzial.»

KONTAKT Stephan Gruber, stephan.gruber@geo.
uzh.ch, Geographisches Institut der Universität
Zürich,

ZUSAMMENARBEIT Universität Basel,
ETH Zürich, EPF Lausanne

FINANZIERUNG Bundesamt für Umwelt,
Schweizerischer Nationalfonds