

Schlussbericht

PERMOS
Permafrost Monitoring Switzerland
Pilotphase 2000-2005

Zu Handen

der finanzierenden Partner:

Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT)
Glaziologische Kommission der SCNAT (GK)
Bundesamt für Wald und Landschaft, Eidgenössische Forstdirektion (BUWAL)
Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG)

sowie

der operativ tätigen Institute

Geographisches Institut, Universität Zürich (GIUZ, Koordination)
Geographisches Institut, Universität Bern (GIUB)
Institut de Géographie, Université de Fribourg (IGUF)
Institut de Géographie, Université de Lausanne (IGUL)
Institut für Geotechnik, ETH Zürich (IGT-ETH)
Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos (SLF-WSL)
Institut für Tourismus und Landschaft, Academia Engiadina (ITL-AE)
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich (VAW-ETH)

Dr. Daniel Vonder Mühl
Delegierter für Permafrost der
Glaziologischen Kommission SCNAT

November 2005

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Executive Summary	3
1 Fortschritte in der Pilotphase 2000-2005.....	4
1.1 Ausgangslage.....	4
1.2 PERMOS-Standorte	4
1.3 Entwicklungen der Messmethodik	7
1.4 Institutionelle und personelle Entwicklungen.....	8
1.5 Mängel und Lücken	9
2 Erkenntnisse aus der Pilotphase.....	11
2.1 Repräsentanz der Messungen	11
2.2 Nutzen für Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verwaltung.....	11
2.3 Bezug zum Kryosphärenmessnetz (Gletscher, Schnee, Permafrost)	13
3 Berichterstattung	14
3.1 Publikationen	14
3.2 Finanzen 1998-2005.....	15
4 Wichtigste Erfahrungen und noch zu lösende Probleme.....	15
4.1 Bohrlochtemperaturen	15
4.2 Bodentemperaturen.....	16
4.3 Luftbilder und Photogrammetrie	16
4.4 Geophysikalische Monitoring.....	16
4.5 Personal und strukturelle Stellen.....	16
5 Empfehlungen für das weitere Vorgehen	17
5.1 Kundenbedarf – Repräsentanz des Messnetzes.....	18
5.2 Auftrag PERMOS	18
5.3 Organisation	18
5.4 Finanzierung ab 2006.....	19
5.5 Zeitplan.....	22
6 Antrag an die finanzierenden Partner.....	23

Executive Summary

Nach mehrjähriger Aufbauphase wurde zwischen 2000 und 2005 ein „bottom-up“-Konzept der Permafrost-Koordinationsgruppe und der Glaziologischen Kommission (SCNAT) für ein Permafrost-Beobachtungsnetz in Form der PERMOS-Pilotphase umgesetzt. Dadurch wurden bestehende Messreihen gesichert und die Methodik für die Permafrost-Beobachtung im Hochgebirge in enger Zusammenarbeit mit internationalen Programmen verfeinert und angepasst.

Ab 2006 muss PERMOS in den dafür zuständigen Institutionen verankert und das Messnetz vereinheitlicht und systematisch ergänzt werden. Es wird vorgeschlagen, dazu eine partnerschaftliche Trägerschaft bestehend aus Bundesämtern und der Akademie sowie universitären Instituten zu etablieren. Rechte und Pflichten sind durch eine Vereinbarung zu regeln.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der Pilotphase zusammen, ortet Lücken und Mängel des Pilot-Messnetzes, berichtet über den Nutzen von PERMOS und schlägt betreffend weiterem Vorgehen folgende Schritte vor:

- Die während der Pilotphase etablierte und bewährte Partnerschaft der beteiligten Institutionen wird weitergeführt, vertraglich abgesichert und gegebenenfalls mit neuen Partnern ergänzt.
- Sämtliche verfügbaren PERMOS-Stationen werden im Jahre 2006 gemäss transparenten Kriterien beurteilt und eine Auswahl künftig weiterzuführender Stationen getroffen.
- Die ausgewählten Stationen werden auf einen einheitlichen technischen und methodischen Standard gebracht und allfällige Mängel behoben. Die dafür notwendigen Mittel werden auf rund Fr. 50'000.— geschätzt (einmalig).
- Betrieb, Unterhalt und Koordination der operativen Arbeiten sowie der Berichterstattung wird mit einem jährlichen Aufwand von rund Fr. 130'000.— gewährleistet.
- Geografische, insbesondere klimaregionale Lücken von PERMOS werden durch gezielte Investitionen und Installationen in der Grössenordnung von ca. Fr. 870'000.— priorisiert, etappiert und, verteilt über mehrere Jahre, geschlossen.

1 Fortschritte in der Pilotphase 2000-2005

1.1 Ausgangslage

Als wichtiger Indikator für Umweltveränderungen hat Permafrost und dessen Erforschung in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Das Messnetz wurde „bottom-up“ von rund einem halben Dutzend Instituten, welche aktiv in der Permafrostforschung tätig sind, initiiert. Das Konzept wurde im November 1999 von der Permafrost-Koordinationsgruppe SCNAT und im Januar 2000 von der Glaziologischen Kommission SCNAT verabschiedet.

Im Herbst 2000 hat das Beobachtungsnetz **PERMOS (PERmafrost MONitoring Switzerland)** unter Federführung der Glaziologischen Kommission der Schweizerischen Akademie für Naturwissenschaften (SCNAT) seinen Pilotbetrieb offiziell aufgenommen.

Ziel von PERMOS ist die langfristige, wissenschaftliche Erfassung des aktuellen Zustandes und der zeitlichen Veränderungen des Permafrosts im Schweizer Hochgebirge. In der Pilotphase 2000 - 2005 standen, neben der Sicherung bestehender Messreihen und der Konsolidierung der organisatorischen Struktur, insbesondere auch methodische Fragen im Zentrum.

Folgende Parameter und Grundlagen wurden im Rahmen der Pilotphase erhoben:

- (1) Temperaturen in bestehenden Permafrost-Bohrlöchern, je nach Situation zusätzlich horizontale und vertikale Bohrlochdeformationen sowie geoelektrische Tomographie (geophysikalisches Monitoring)
- (2) Temperatur an der Basis der Schneedecke (BTS), Bodenoberflächen- und Felstemperaturmessungen,
- (3) Periodische Luftbilder (schwarz-weiss und infrarot) von ausgewählten Gebieten.

Diese Erhebungen ermöglichen eine zunehmend verbesserte bzw. fundiertere Beurteilung von Naturgefahren, die in Permafrostgebieten ihren Ursprung haben können (z.B. Murgang- und Sturzprozesse). Das Vorgehen für die Erstellung von systematischen und einheitlichen Grundlagen zur Modellierung der Prozesse ‚Murgang‘ und ‚Sturz‘ aus Permafrostgebieten wurde im Rahmen des Projekts „Permafrost und Naturgefahren“ des BWG 2005 erarbeitet.

PERMOS ist im internationalen Rahmen Teil der europäischen Permafrostbeobachtung (PACE21), aber auch einer der ersten Bausteine im Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P), welches innerhalb des weltweiten Klimabeobachtungs-Programms (GCOS/GTOS) im Aufbau begriffen ist. Damit gibt die Schweiz mit der Lancierung von PERMOS einen wichtigen Impuls für die internationale Gebirgs- und Klimaforschung.

1.2 PERMOS-Standorte

1.2.1 Bohrlöcher

Bis dato sind an 14 Lokalitäten insgesamt 33 Bohrungen verfügbar. Diese unterscheiden sich insbesondere in ihrer Tiefe und Messtechnik. Es gibt jedoch auch einige wenige Bohrungen, welche nicht direkt im Permafrost liegen. Tabelle 1 gibt einen entsprechenden Überblick.

Bei Beginn der Pilotphase verfügte PERMOS über 9 Lokalitäten mit insgesamt 23 Bohrungen. Bis zum Jahre 2005 kamen weitere 10 Bohrungen und 5 Lokalitäten hinzu. Details sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Bohrungen, welche für PERMOS genutzt werden können.

Lokalität	Verantwortlich	Jahr	Ort	tiefster Sensor	Bemerkung
Murtèl-Corvatsch 1/87	GIUZ	1987	1	21.0	Ähnlich wie 2/87
Murtèl-Corvatsch 2/87	GIUZ	1987	1	58.0	
Murtèl-Corvatsch 2/00	GIUZ, IGT	2000	1	62.0	
Schafberg-Pontresina 1/90	VAW, SLF	1990	2	18.0	
Schafberg-Pontresina 2/90	SLF, VAW	1990	2	25.2	
Jungfrauoch N/95	VAW	1995	3	10.5	
Jungfrauoch S/95	VAW	1995	3	10.0	
Arolla, Mt. Dolin B1/96	SLF	1996	4	5.5	
Arolla, Mt. Dolin B2/96	SLF	1996	4	5.5	Kein Permafrost
Muot da Barba Peider 1/96	SLF	1996	4	17.5	
Muot da Barba Peider 2/96	SLF	1996	4	17.5	
Emshorn 4/96	SLF	1996	5	6.3	Handmessung
Emshorn 5/96	SLF	1996	5	6.3	Handmessung
Emshorn 6/96	SLF	1996	5	6.3	Handmessung
Lapires 1/98	IGUF, IGUL	1998	6	19.6	
Randa Wisse-Schijen 1/98	SLF	1998	7	2.8	
Randa Wisse-Schijen 2/98	SLF	1998	7	4.0	
Randa Wisse-Schijen 3/98	SLF	1998	7	4.0?	Handmessung
Schilthorn 51/98	GIUZ	1998	8	13.7	
Schilthorn 50/00	GIUZ	2000	8	100.0	Vertikalbohrung
Schilthorn 52/00	GIUZ	2000	8	92.0	Schrägbohrung
Muragl 1/99	IGT	1999	9	69.0	Kein Permafrost
Muragl 2/99	IGT	1999	9	59.7	
Muragl 3/99	IGT	1999	9	69.6	
Muragl 4/99	IGT	1999	9	69.6	
Stockhorn 60/00	GIUZ	2000	10	98.3	
Stockhorn 61/00	GIUZ	2000	10	17.0	
Flüela 1/02	SLF	2002	11	20.0	
Grächen 1/02	SLF	2002	12	24.0	
Grächen 2/02	SLF	2002	12	24.0	
Gentianes	IGUL	2002	13	20.0	
Tsaté	IGUL	2004	14	19.5	UTL-Kette

1.2.2 BOT/BTS/UTL-Gebiete

Die Lokalitäten, in welchen Bodentemperaturen gemessen werden, sind mit mehreren Einkanal-Temperaturloggern (UTL) bestückt. Zwischen Februar und April wurden jeweils ergänzend BTS-Messungen durchgeführt. In der ersten Zwischenbeurteilung (Juli 2003, siehe Anhang 3) wurde entschieden, diese Messungen methodisch anders anzugehen: Anstelle der BTS-Messungen wurden Felstemperatur-Stationen eingerichtet, welche repräsentativ für eine ganze Region sind. Diese UTL befinden sich in fast vertikalen Steilwänden ohne Schneeakkumulation. Der Vergleich mit den mit Schnee bedeckten UTL der BTS/UTL-Lokalitäten erlaubt, unter Berücksichtigung der Strahlungsverhältnissen, eine Abschätzung des Einflusses der Schneedecke. Die BTS-Messungen wurden lediglich an einzelnen Lokalitäten aufrechterhalten, an einigen Lokalitäten wurden auch die UTL-Messungen nicht weitergeführt. Tabelle 2 gibt über die entsprechenden Einzelheiten Auskunft.

**Tabelle 2: Bodentemperaturmessungen im weiteren Sinne: Basistemperatur der hochwin-
terlichen Schneedecke (BTS), Einkanal-Temperaturlogger und Felsstationen (UTL)**

Ort	Region	UTL	BTS	Fels
Furggentälti	Gemmispass, VS	1994 – 2005	2000 – 2003	
Alpage de Mille	Bruson, Val de Bagne, VS	1997 – 2005	1996 – 2005	
Ritord-Challand*	Bourg St.Pierre, Val d'Entremont, VS	1997 – 2005	keine	
Réchy	Val de Réchy, VS	1997 – 2005	2000 – 2004	2004 – 2005
Lapires	Val de Nendaz, VS	1998 – 2005	2001 – 2005	2004 – 2005
Yettes Condja	Val de Nendaz, VS	1998 – 2005	2001 – 2003	
Creux de la Lé-Sanetsch	Berner Oberland, VS	1998 – 2005	keine	
Muragl	Val Muragl, Oberengadin, GR	1998 – 2001	2000 – 2001	
Schilthorn	Berner Oberland, BE	1999 – 2005	2000 – 2003	2003 – 2005
Murtèl-Corvatsch	Oberengadin, GR	2001 – 2005	2000 – 2001	2003 – 2005
Schafberg-Pontresina*	Oberengadin, GR	2001 – 2004	keine	
Region Jungfrauoch	Berner Oberland, BE			2003 – 2005

* keine BTS vorgesehen

1.2.3 Luftbilder

Schwarz-weiss Luftbilder

Tiefgeflogene Luftbilder werden im Rahmen von PERMOS ausschliesslich zu Dokumentationszwecken erhoben. Ziel ist die photogrammetrische Bearbeitung zur Ableitung verschiedenen geomorphologischer Veränderungen über die Zeit. Verschiedene Gebiete werden bereits seit den 1980-er Jahren im Turnus befliegen. Die Luftbilder werden archiviert, um zu einem späteren Zeitpunkt in einem Projektrahmen (z.B. Dissertation, Diplomarbeit, etc.) ausgewertet zu werden. Es ist vorgesehen, mindestens ein Luftbildflug pro Jahr durchzuführen.

**Tabelle 3: Gebiete mit Blockgletschern, die im Rahmen der systematischen Permafrostbe-
obachtung seit den 1980-er Jahren im Turnus befliegen werden (tiefgeflogene schwarz-
weiss Aufnahmen).**

Gebiet	Art	Max. Beweg.	Vorhandene Luftbilder
Murtèl, GR	tief, s-w	15 cm/a	1987, 1988, 1991, 1995, 1996, 2002
Muragl, GR	tief, s-w	50 cm/a	1981, 1985, 1990, 1994, 1998, 1999, 2000, 2002
Schafberg, GR	tief, s-w	10 cm/a	1991, 1994, 1998, 1999, 2000
Réchy, VS	tief, s-w		1986, 1991, 1995, 1999, 2004
Gruben, Saastal, VS	tief, s-w	100 cm/a	1967, 1975, 1983, 1985, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1994, 1995, 1996, 1997, 2000
Suvretta, GR	tief, s-w	200 cm/a	1992, 1997, 2002
Gross Gufer, VS	tief, s-w	250 cm/a	1987, 1994, 2000
Furggentälti, BE	tief, s-w	70 cm	1990, 1995, 1999, 2000

Erste Auswertungen bestätigen, dass die Bewegungen von Blockgletschern nicht konstant verlaufen. Die Mehrzahl der beobachteten Kriechgeschwindigkeiten hat sich in den späten 1990-er und frühen 2000-er Jahren teils um mehr als einen Faktor 2 vergrössert. Für detaillierte Prozessverständnisse sind dazu weitere Untersuchungen notwendig.

IR-Luftbilder

Veränderungen der Vegetation und der Mobilisierung von Lockermaterial (Murgänge), aber auch das Verhalten der für Permafrostgebiete charakteristischen perennierenden Schnee- und

Firnflecken werden mit Infrarot-Luftbildflügen dokumentiert. Seit den Unwettern von 1987 nimmt die Eidgenössische Vermessungsdirektion (heute swisstopo) systematisch Infrarot-Luftbilder über ausgewählten Periglazialgebieten auf. Diese Bilder dokumentieren nicht nur ein breites Spektrum an Information über Felsstürze, Schutthalden, Blockgletscher, Moränen, Murgänge, Vegetationsbedeckung und oberflächennahe Gewässer, sondern zeigen auch menschliche Eingriffe, wie etwa Skipistenplanierungen, Schutzbauten oder Verkehrsanlagen. Die Gebiete sollen in Abständen von 10 bis 30 Jahren wieder befliegen werden, um Veränderungen quantitativ zu erfassen.

Tabelle 4: Gebiete mit Infrarot-Luftbilder

Region	Jahr
Morteratsch	1981
Goms North	1983
Goms South	1983
Goms-Gerental	1983
Goms-Münsterbach	1983
Upper Engadine – Julier	1988
Upper Engadine – Val Roseg	1988
Piz Quattervals	1984
Piz Vadret – Piz Fora	1984
Vals da Camp	1984
Val Maroz – Julier – Piz Ot	1984
Roseggletscher	1985, 2004
Val Réchy – Moiry	1986
Simplon	1987
Turtmann – Zinal	1987
Mattertal	1991
Saastal	1991
Simplon – Almagell	1991
Flüelapass	1997
Schilthorn	2003

1.3 Entwicklungen der Messmethodik

Für ein langfristiges Beobachtungsnetz ist es wichtig, einerseits neue technische Entwicklungen aufzunehmen, andererseits die definierten Messstandards möglichst beizubehalten.

1.3.1 Bohrlochtemperaturen

Der heutige Standard für Temperaturmessungen in Bohrlöchern besteht aus einer vorgefertigten Messkette mit Temperatursensoren, welche gemäss dem PACE-Standard angeordnet sind. Mittels Dataloggern werden die Temperaturen in entsprechenden Zeitintervallen gemessen und gespeichert. Die Datalogger sind via Funk und/oder Natel vom Büro ansteuer- und programmierbar, die Daten können ebenso regelmässig herunter geladen werden.

Bezüglich der Methodenentwicklung seit Beginn der Messreihen sind folgende Schritte zu erwähnen:

- Definition und Übernahme des PACE-Standards für Temperaturmessungen in Permafrostbohrlöchern.
- Verwendung der durch die Stump AG gefertigten Temperaturketten (Technik und Methodik wurde in Zusammenarbeit mit PERMOS-Vertretern entwickelt).
- Harmonisierung der eingesetzten Datalogger und der verwendete Datenstruktur für alle Lokalitäten.

1.3.2 Bodentemperaturen

Die Einkanal-Temperaturlogger (UTL) wurden in den 1990-er Jahren eingeführt und wurden seither technisch weiterentwickelt.

Die BTS-Messungen waren aus verschiedenen Gründen schwierig umsetzbar. Ausserdem waren die Ergebnisse durch den starken Einfluss der unterschiedlichen Schneeverhältnisse weniger aussagekräftig als erwartet. Es wurde beschlossen, die Messungen nur im Zeitraum 2000-2003 durchzuführen und damit eine Grundlage für allfällige spätere Messungen zu erarbeiten. Danach wurde jedoch auf eine systematische Erhebung der BTS-Werte verzichtet. Einzelne BTS-Gebiete wurden jedoch weitergeführt.

Hingegen wurde in fünf Gebieten, ergänzend zu den Bodentemperaturmessungen (UTL), Stationen mit Felstemperaturmessungen eingerichtet. Dadurch können die verschiedenen Einflussfaktoren (Schnee, Strahlung, Bodencharakteristik, etc.) gemäss Gruber et al. (2003) separiert werden. Diese neue Methodik hat sich bisher gut bewährt.

1.3.3 Luftbilder und Photogrammetrie

Die Sicherung des Bildmaterials für die Auswertung der tief geflogenen Luftbilder ist gewährleistet. Das Konzept der Luftbilderhebung soll beibehalten werden. Die Gebiete mit Infrarot-Luftbildflügen sollen alle rund 15 Jahre befliegen werden.

1.4 Institutionelle und personelle Entwicklungen

Die drei finanzierenden Partner SCNAT, BUWAL und BWG haben 2003 bereitwillig einer zweijährigen Verlängerung der Pilotphase zugestimmt. Die beiden Bundesämter haben ihre Beiträge gar leicht erhöht (siehe Finanzübersicht).

Tabelle 5: Institute und Personen, die während der Pilotphase für PERMOS massgebliche Arbeiten übernommen haben (nicht aufgeführt sind Assistierende und Feldgehilfen).

Institut	Institution	Personen
Geographisches Institut (GIUB)	Universität Bern	Bernhard Krummenacher, Markus Imhof, Dragan Mihajlovic, Benno Staub
Geographisches Institut (IGUL)	Universität Lausanne	Christophe Lambiel, Emmanuel Reynard
Geographisches Institut, Department Geowissenschaften (IGUF)	Universität Freiburg	Reynald Delaloye
Geographisches Institut, Gruppe für Glaziologie und Geomorphodynamik (GIUZ)	Universität Zürich	Regula Frauenfelder, Stephan Gruber, Wilfried Haeberli, Susanne Hanson, Martin Hoelzle, Andi Kääb, Jeannette Nötzli, Nadine Salzmann, Daniel Vonder Mühl
Institut für Geotechnik (IGT)	ETH Zürich	Sarah Springman, Lukas Arenson, Ernst Bleiker
Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF)	WSL, SLF Davos	Marcia Phillips, Martina Lütschg, Thomas Stucki, Stefan Harvey
Institut für Tourismus und Landschaft (ITL-AE)	Academia Engiadina, Samedan	Felix Keller, Christine Rothenbühler
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)	ETH Zürich	Andreas Bauder, Hermann Bösch, Christian Hauck, Evelyne Herren, Martin Hoelzle, Sepp Luthiger, Tetsuo Sueyoshi, Daniel Vonder Mühl

Seitens der operativ tätigen Institutionen haben sich nur geringfügige Veränderungen ergeben. Wohl gab es verschiedene personelle Wechsel und damit auch eine Verschiebung von Intensitäten und/oder Schwerpunkten. Insgesamt kann aber festgestellt werden, dass die involvierten Personen und Institutionen auch nach einem Stellenwechsel gemäss ihren neuen Möglichkeiten (teils von Deutschland und Übersee aus!) sich für PERMOS engagierten.

Die während der Pilotphase involvierten Institute und Personen sind Tabelle 5 zu entnehmen.

1.5 Mängel und Lücken

Der Ansatz der drei kombinierten Elemente Bohrlochtemperaturen, Bodenoberflächentemperaturen und Luftbilderhebung hat sich bewährt. Allerdings sind aufgrund der Pilotphase hinsichtlich Mängel und Lücken zwei wichtige Punkte zu nennen: Neu entwickelte Methode des geophysikalischen Monitorings und Personalsituation.

Die nachfolgend beschriebenen Mängel und Lücken, insbesondere aber die Installation neuer Stationen muss sich nach einem noch zu erarbeitenden Konzept eines integralen Kryosphären-Monitoring richten. In diese Grundlage fliessen Rahmenbedingungen von internationalen Anbindungen (z.B. GCOS/GTOS) sowie beispielsweise Bezüge zwischen Klimatologie und Kryosphäre ein.

1.5.1 Bohrlochtemperaturen

Sämtliche Bohrungen wurden im Rahmen von initiierten Forschungsprojekten durch die universitären Institute erstellt und finanziert. Zumeist standen prozessorientierte Fragestellungen im Zentrum der Forschung, selten der Aufbau einer langfristigen Beobachtungsstation.

Mängel:

Entsprechend dem geschilderten Aufbau verwendete jedes Institut unterschiedliche Techniken. Trotz regelmässigem und intensivem Erfahrungsaustausch sind die Bohrlöcher mit unterschiedlichen Sensoren, Dataloggern, Sensoranordnungen und Übertragungsmöglichkeiten ausgerüstet.

Ein wichtiger Bestandteil für eine zuverlässige, langfristige Temperaturbeobachtung ist eine sorgfältige und in regelmässigen Abständen durchgeführte Kalibrierung der Sensoren. Bisher sind die Betreiber der Bohrlochmessungen für diese Kalibrierung zuständig.

Dataloggerstationen im Hochgebirge sind Gewittern, starken Niederschlägen, aber auch anderen Naturgefahren ausgesetzt. Verschiedentlich mussten Stationen nach Blitzschlägen oder Lawinenabgängen repariert oder neu installiert werden. Dadurch entstehen Lücken in den Datenreihen. Um eine beschädigte Station bald möglichst zu erkennen und wenige Datenverluste zu riskieren, müssten die Daten in kurzen Zeitintervallen ausgelesen (herunter geladen) und überprüft werden; dies wiederum ist personalintensiv.

Lücken:

Die einleitende Bemerkung erklärt, weshalb die PERMOS-Bohrungen scheinbar zufällig verteilt sind und eine auffällige Bohrlochdichte im Oberengadin vorliegt. Bei den Forschungsarbeiten standen meist das Prozessverständnis und andere Fragestellungen im Zentrum. Idealerweise wäre in jeder Klimaregion der Schweiz, in welcher Permafrost auftritt, mindestens je eine PERMOS-Bohrung im Fels und eine im Lockermaterial installiert. Der pragmatische Zwischenweg besteht darin, dass geografische Lücken des PERMOS-Netzes aufgelistet und priorisiert werden. Offensichtlich ist beispielsweise das Fehlen einer Permafrostbohrung im zentralen Alpengebiet (Gotthard).

1.5.2 Bodentemperaturen

Mängel: Die BTS-Methode hat sich als sehr aufwendig und als (zu) wenig geeignet erwiesen, um die Untergrenze der Permafrostverbreitung systematisch zu erfassen. Dementsprechend wurden an den meisten Lokalitäten die BTS-Messungen ausgesetzt. Die UTL-Messungen wurden jedoch durch fünf Felstemperaturstandorte ergänzt.

Lücken: Auch die Bodentemperatur-Lokalitäten sind zu wenig systematisch verteilt. Es braucht jedoch höchstens in den drei Klimaregionen Gotthard, Nordbünden, Saas-/Mattertal.

1.5.3 Luftbilder und Photogrammetrie

Mängel: Die Luftbilder sind bei swisstopo sicher archiviert und für Personen, die Auswertungen im Sinne von PERMOS durchführen wollen, jederzeit frei verfügbar. Allerdings fehlt eine leicht zugängliche Datenbank, aus welcher die vorhandenen Bilder beispielsweise web-basiert mit Quicklook-Möglichkeit ausgewählt werden können.

Lücken: Je nach Arbeitslage bei swisstopo und Witterungsverhältnissen können die Luftbilder nicht im beantragten Jahr aufgenommen werden. Wenn die Gebiete im darauf folgenden Jahr befliegen werden wiegt die dadurch entstandene Lücke jedoch nicht schwer.

1.5.4 Geophysikalisches Monitoring im Permafrost

Am Bohrstandort Schilthorn wurden 1999 permanente Elektroden installiert um regelmässig geoelektrische Tomographie durchzuführen. Seither wurde die Methode systematisch weiterentwickelt. Der Vorteil liegt darin, dass sich nicht nur thermische Veränderungen in den obersten rund 10 bis 20 m erfassen lassen, sondern insbesondere auch wichtige Zusatzinformationen wie Wasser- und Eisgehalt sowie deren Veränderung mit der Zeit ableiten lassen. Die PERMOS-Gruppe ist zur Einsicht gelangt, dass weitere Bohrstandorte mit permanenten Elektroden ausgerüstet und beobachtet werden müssen. Also wurden bereits 2005 drei PERMOS-Stationen entsprechend eingerichtet. Eine Automatisierung des geophysikalischen Monitorings ist später vorgesehen.

1.5.5 Personal und strukturelle Stellen

Das zentrale Problem kleiner Disziplinen (wie beispielsweise der Glaziologie) ist die geringe Anzahl struktureller Stellen an Hochschulen und in Behörden. Die Fachkompetenz wird an den universitären Hochschulen von spezialisierten Professoren bei Studierenden (Diplomierende und Doktorierende), wissenschaftlichen MitarbeiterInnen (Post-Docs, Assistierende) aufgebaut. Die zumeist befristet angestellten Forschenden müssen in der Regel nach Ablauf des Vertragsverhältnisses eine andere Stelle annehmen (zumeist in einem anderen Gebiet und/oder im Ausland). Das ist prinzipiell zwar zu begrüssen und in Ordnung, allerdings ist der weltweite Pool entsprechender „Spezialistenstellen“ derart klein, dass ein „brain-back“ meist scheitert und schon gar nicht planbar ist. Das erklärt auch, dass bei Vakanzen meistens nicht die best geeigneten, sondern die überhaupt (oft eher zufällig) verfügbaren Personen Strukturstellen besetzen. Im Gegensatz zu Übersee (United States Geological Survey USGS, Geological Survey of Canada GSC) wird in der Schweiz kaum eigene Grundlagenforschung durch die Bundesämter (BUWAL, BWG, VBS, ...) betrieben. Die glaziologische Forschung wird zum Hauptteil an den universitären Hochschulen (ETH-Bereich und Universitäten) betrieben. Die Ausrichtungen der kantonalen Universitäten werden gegenwärtig im hochschulpolitischen Rahmen diskutiert, die Schwerpunkte einzelner Neuberufungen obliegen den Fakultäten. Das bringt mit sich, dass die Fortführungen von Spezialgebieten oft nicht gewährleistet sind.

2 Erkenntnisse aus der Pilotphase

Das Konzept für PERMOS basiert auf einer langjährigen Diskussion unter Permafrostforschenden im In- und Ausland. Im Wesentlichen hat sich die gewählte Strategie bewährt. Anpassungen waren einzig bei den Bodentemperaturmessungen notwendig.

In der Pilotphase herrschten glücklicherweise unterschiedliche und zum Teil sehr extreme Witterungsbedingungen: Der Jahrtausendsommer 2003, aber auch Winter in welchen kaum Schnee fiel. Dadurch wurde das Spektrum der Erfahrungen und Erkenntnisse wesentlich erweitert.

Durch die Analyse der durch PERMOS erhobenen Parameter können Prozesse besser verstanden und langfristige Entwicklungen erkannt werden. Konkret heisst das:

- Erfassen der thermischen Permafrost-Veränderungen, insbesondere Permafrost-Temperaturen, aber auch Wärmetransportprozesse
- Erfassen der Variation der Mächtigkeit der Auftauschicht und der ‚transient layers‘
- Ermitteln analoger und digitaler Geländeinformationen
- Erfassen der Folgen von Permafrostveränderungen auf der Grundlage der verfügbaren Luftbilder
- Verbessern der Erkenntnisse der beteiligten Prozesse und Formen
- Flexibles anpassen der Messgrößen des Messnetzes sofern notwendig
- Einbezug in die Entwicklung sowie Überprüfung von Permafrostmodellierungen.

Zusammenfassend kann folgende Quintessenz gezogen werden:

Die Mächtigkeit der Auftauschicht ist weitgehend ein Jahressignal. Sie hängt einerseits stark von lokalen Faktoren, insbesondere vom Wasser-, resp. Eisgehalt, ab. Andererseits wird sie vor allem von den Lufttemperaturen in der schneefreien Zeit (d.h. Mai bis September) und der Strahlung bestimmt. Die Permafrosttemperaturen unterhalb der Auftauschicht werden dagegen massgeblich vom Zeitpunkt des ersten grossen Schneefalls bestimmt, der eine mindestens 30 cm dicke Schneedecke zurücklässt. Erfolgt dieser beispielsweise bereits im September, bleibt die Wärmeenergie der Auftauschicht durch die Isolationswirkung des Schnees im Boden gespeichert. Bleibt der Schnee dagegen bis im Januar rar, kühlt der Untergrund aus und die Winterkälte dringt ungehindert in den Boden ein. Ein schneearmer Winter wirkt – egal ob er klimatisch zu warm oder zu kalt ist – aus Sicht des Permafrosts kühlend.

Die Auftauschicht hat – insbesondere im Sommer 2003 – je nach Eisgehalt des Permafrosts unterschiedlich reagiert. Bemerkenswert ist allerdings, dass sie beispielsweise am Schilthorn auch 2004 markant mächtiger ausfiel als vor 2002. Dies deutet darauf hin, dass die Auftauschicht des Jahres 2003 möglicherweise strukturell verändert. Die obersten 9 m dürften aufgetaut und danach entwässert worden sein.

2.1 Repräsentanz der Messungen

Jeder PERMOS-Standort weist spezifische Charakteristika auf. Das fördert das Prozessverständnis, führt jedoch auch dazu, dass die Signale unterschiedlich ausfallen können. Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Messungen repräsentativ sind für den Typus des Standortes (z.B. flache Schutthalde) in einer grösseren Region (z.B. Oberengadin).

2.2 Nutzen für Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verwaltung

Die Frage nach dem „Return on Investment“ ist legitim, gleichzeitig jedoch nur unscharf beantwortbar. Beobachtungsreihen lassen sich insofern mit Grundlagenforschung vergleichen: Der direkte Nutzen ist oft nicht ersichtlich. Trotzdem basiert der technische Fortschritt auf einer Kombination verschiedener, für sich alleine „unwichtiger“ Ergebnisse aus der Grundlagenfor-

schung. Beobachtungsreihen klimabezogener Grössen (Gletscherlängen, Lufttemperaturen, CO₂, etc.) gewinnen mit jedem zusätzlichen Jahr an Aussagekraft und „Gebrauchswert“. Datenlücken sind beim Permafrost-Monitoring nicht rekonstruierbar (wie beispielsweise Gletscherlängen aus alten Fotos).

2.2.1 Wissenschaft

Die Modellierung von Prozessen bedingt ein minimales Verständnis der relevanten Einflussgrössen. Lange Messreihen ermöglichen einerseits das Prozessverständnis zu vertiefen, andererseits die Kalibrierung von Simulationen und Modellen.

Die klimabedingten Veränderungen im Permafrost sind ausgesprochen langfristige Effekte mit grosser Tiefenwirkung. Die beteiligten Prozesse (Wärmediffusion in komplexer Topographie, Wassereinflüsse, Energiebilanz etc.) können nur aufgrund von langfristigen Experimenten und Messungen erfasst und verstanden werden. Die Möglichkeiten, vergangene und zukünftige Entwicklungen mit Modellrechnungen abzuschätzen, hängen deshalb primär vom Stand der Beobachtung für Parametrisierung, Kalibrierung und Validierung ab. Modelle und Beobachtungen gehen parallel und stützen sich gegenseitig. Die Schweiz als Hochgebirgsland hat in diesem Bereich eine weltweit führende Stellung und ist entsprechend in internationalen wissenschaftlichen Programmen engagiert (GCOS/GTOS, ESF: PACE 21, CALM). Forschungs- und Beobachtungsergebnisse gehen auch regelmässig in Assessments der entsprechenden schweizerischen Organe (IPCC, OcCC, Proclim-, Geoforum) ein.

2.2.2 Wirtschaft

Mit der Veränderung der Temperaturen und Eisgehalte, vorab im tieferen Untergrund, verändern sich auch die Dimensionen potentieller Schadenereignisse durch Murgänge und Fels-/Bergstürze. Die generelle Dokumentation von langfristig/tiefreichenden Veränderungen hinsichtlich entscheidender Faktoren für Wasserabfluss und Hangstabilität bildet die essentielle Grundlage für eine Beurteilung entsprechender Szenarien im regionalen bis lokalen Bereich. Dies wiederum hilft bei der gezielten Beobachtung besonders exponierter Situationen und unterstützt dadurch die Prävention von Ereignissen mit starken Beeinträchtigungen bis hin zu extrem negativen Folgen (z.B. grosses Sturzereignis in einen vollen hochalpinen Speichersee etc.).

Der Bezug zu einem nationalen Messnetz erlaubt es den verantwortlichen Behörden, Organisationen und Expertengremien, die in Zukunft wahrscheinlich beschleunigenden Abläufe in Gesamtzusammenhänge einzuordnen und zu bewerten. Dies gilt insbesondere auch für die Bereiche der Versicherungen und Rückversicherungen, welche sich mit der Risikoabschätzung befassen.

Das Wissen in der breiten Öffentlichkeit bezüglich entsprechender Veränderungen dürfte für die Sicherung der Lebensqualität und der touristischen Attraktivität des Alpenraumes von wachsender Bedeutung sein.

Der unmittelbare Bezug zwischen Permafrost und Wirtschaft erfolgt vor allem über den Tourismus, inkl. deren Erschliessungs-Infrastruktur sowie zu geringen Teilen über die Bauwirtschaft und die Forstwirtschaft. Die PERMOS-Ergebnisse können der Wirtschaft indirekt dienen, indem beispielsweise interessierte Gäste mittels Lehrpfaden informiert werden oder die Bauwirtschaft aufgrund der gewonnenen Prozessverständnisse bereits bei der Planung von Bauten im Permafrost spezifische Massnahmen treffen kann. Bereits bei der Planung berücksichtigte Vorbeugemassnahmen sind wesentlich kostengünstiger als nachträgliche Sanierungen.

2.2.3 Politik und Verwaltung

Auf Anfrage der UNO hat das EDA im Jahre 2000 zugesichert, die systematische Beobachtung des Permafrosts in der Schweiz zu unterstützen.

Die Umweltbeobachtung ist in den Gesetzen und Verordnungen verankert, ein expliziter Hinweis zum Permafrost fehlt jedoch ebenso wie zu anderen spezifischen Teilbereichen der Umweltbeobachtung.

Direkt oder indirekt muss sich Politik und Verwaltung bei Bewilligungsverfahren von Transportanlagen im Hochgebirge aber auch bei entsprechenden Bauten für die Armee mit der Thematik Permafrost befassen.

Politik und Verwaltung sind zuständig für den Themenkreis „Naturgefahren“. Daraus ergibt sich ein Interesse entsprechenden Hintergrund für beispielsweise das Ausscheiden von Richt- und Zonenplänen bezüglich Schadenpotenziale in und aus Permafrostgebieten.

Die MeteoSchweiz führt ein Messnetz für Bodentemperaturen, in welches sich zumindest die Bohrlochtemperaturen strukturell einbinden liessen. Permafrost ist bekanntlich ein klimabezogenes Phänomen.

Da das Phänomen Permafrost der direkten Beobachtung entzogen und zudem in Gebirgshängen oberhalb von Siedlungen und Infrastrukturen gelegen ist, besteht ein grosses Bedürfnis nach genauer Information. Die durch das BWG initiierte und 2005 öffentlich verfügbare Modellierung der Permafrostverbreitung für den ganzen Alpenraum kommt diesem Informationsbedürfnis nach. PERMOS ergänzt diese Grundlage durch Information über die zeitliche Entwicklung und die Effekte in verschiedenen Materialien (Schutt, Fels) resp. Tiefen.

2.3 Bezug zum Kryosphärenmessnetz (Gletscher, Schnee, Permafrost)

Die Übergänge zwischen den drei Kryosphärenkomponenten Gletscher, Schnee und Permafrost sind in der Natur fliessend. Ausserdem beeinflussen sich diese häufig gegenseitig. Daher ist eine integrale Sicht des gesamten Kryosphärensystems wichtig und unbedingt anzustreben.

PERMOS ergänzt insbesondere das Gletschermessnetz in idealer Weise, da Gletscher in erster Linie ein Phänomen des festen Niederschlags sind, Permafrost dagegen vor allem ein Temperaturphänomen darstellt. Beide Messnetze beinhalten sowohl „Jahressignale“ (Gletscher: Massenbilanz; Permafrost: Mächtigkeit der Auftauschicht, Oberflächentemperatur, Eis-/Wassergehalt in den obersten 10m) wie auch „Dekadensignale“ (Gletscherlängen; Permafrosttemperaturen, Kriechgeschwindigkeit von Blockgletschern). Der Bezug zum Schneemessnetz ist aufgrund des Einflusses des Schnees (Datum des Einschneiens und Ausaperns) offensichtlich.

3 Berichterstattung

3.1 Publikationen

Folgende Berichte wurden bis November 2005 publiziert:

Basisdokumente

2000: „Aufbau eines Permafrost-Beobachtungsnetzes in der Schweiz – PERMOS“ (Konzept) inkl. „Anhang PERMOS: Einzelheiten und Erläuterungen“

2003: „Eine erste Beurteilung der Pilotphase von PERMOS 2000-2003: Quo vadis?“
Zwischenbilanz der Pilotphase 2000-2003

Berichte:

2000: GEOforumCH aktuell: „Pilotphase für das Permafrost-Beobachtungsnetzes in der Schweiz (PERMOS)“

2001: „Permafrost Monitoring Switzerland PERMOS 1. Jahresbericht 1999/2000“ (inkl. Anhang)

2002: DIE ALPEN 10/2002: „Mit PERMOS Permafrost erforschen“

2003: DIE ALPEN 10/2003: „Permafrost der Schweizer Alpen 2000-2002“

2004: „Permafrost in Switzerland 2000/2001 and 2001/2002. Glaciological Report (Permafrost) No. 2/3. Permafrost Monitoring Switzerland“

2005: DIE ALPEN 10/2005: „Permafrost der Schweizer Alpen 2002-2004“

2005 „Schlussbericht PERMOS Pilotphase 2000-2005“ (vorliegender Bericht)

Demnächst:

„Permafrost in Switzerland 2002/2003 and 2003/2004. Glaciological Report (Permafrost) No. 4/5. Permafrost Monitoring Switzerland“

PERMOS wurde regelmässig an internationalen wissenschaftlichen Tagungen und Konferenzen in Vorträgen und Postern vorgestellt. Eine unvollständige Auswahl:

1993: VI International Conference on Permafrost, Peking. 5-9 July 1993

1998: VII International Conference on Permafrost, Yellowknife. 23 – 27 June 1998

1999: International Symposium on the verification of cryospheric models, International Glaciological Society, Zurich. 16 – 20 Aug 1999

2000: International Workshop on Permafrost Monitoring and Database, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks. 11-14 June 2000

2001: 1st European Conference on Permafrost, Rom. 26-28 March 2000

2002: International Conference on extreme phenomena in cryosphere: basic and applied aspects. Pushchino, Russia. 11-15 May 2002

2003: VIII International Conference on Permafrost, Zürich. 21 – 25 July 2003

2004: International Conference “Cryosphere of Oil-And-Gas Bearing Provinces”, Institute of Earth Cryosphere, Tyumen, Russia (Siberia). 22-29 May 2004

2005: 2nd European Conference on Permafrost, Potsdam, 12-17 June 2005

Über den jeweils aktuellen Stand von PERMOS wurde auch im jährlichen Bulletin der International Permafrost Association IPA, FROZEN GROUND, berichtet.

3.2 Finanzen 1998-2005

Bis 1997 wurden sämtliche Aktivitäten durch die universitären Partner-Institutionen finanziert. Die Glaziologische Kommission der SCNAT beteiligt sich seit 1998 an den Feldspesen (1998-2000: Fr. 8'000; Fr. 10'000; Fr. 10'500) und der Finanzierung der Publikation der jährlichen Berichte. Für die Erarbeitung des PERMOS-Konzeptes stellte der SAC im Jahre 1997 Fr. 20'000 zur Verfügung, welche insbesondere für die Entlohnung eines Assistenten eingesetzt wurden.

Die jährlichen Aufwendungen für die Feldarbeit (Spesen und Verbrauchsmaterial) belaufen sich derzeit auf rund Fr. 30'000 (Bohrungen und BTS/BOT/UTL-Lokalitäten je rund Fr 12'500, Luftbilder rund Fr 5'000). Diese Mittel werden von der SCNAT, dem BUWAL (Eidgenössische Forstdirektion) und dem BWG zur Verfügung gestellt. Der Permafrost-Delegierte der GK ist seit 2001 für die Koordinationsaufgabe am Geographischen Institut der Universität Zürich teilzeitangestellt (10%). Die universitären Partner tragen Saläre, Reparaturen, Neuinstallationen, etc. Die Glaziologische Kommission beteiligt sich analog zu den Gletscherberichten finanziell an der Erarbeitung (Fr. 15'000 pro Zwei-Jahresbericht) und der Publikation (Fr. 12'000 pro Zwei-Jahresbericht) der Berichte.

**Tabelle 6: Finanzierung PERMOS 1998-2005 (in SFr)
(ohne Beiträge der operative tätigen universitären Partner)**

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
SCNAT	8'000	10'000	10'500	15'000	15'000	15'000	15'000	15'000
BUWAL				11'000	4'000	6'000	10'000	10'000
BWG				9'000	9'000	9'000	12'000	12'000
Total	8'000	10'000	10'500	35'000	28'000	30'000	37'000	37'000
Kumuliert:	8'000	18'000	28'500	63'500	91'500	121'500	158'500	195'500

4 Wichtigste Erfahrungen und noch zu lösende Probleme

Die wohl wichtigste Erfahrung betrifft die Resonanz in der internationalen Permafrost-Forschungsgemeinschaft: PERMOS wird als Vorbild für grosse Permafrostnationen (z.B. Kanada aber auch Russland) angesehen. Das Interesse an den zunehmend länger werdenden Messreihen ist aber nicht nur bei den Wissenschaftlern, sondern ebenso bei Behörden und der Öffentlichkeit (Journalisten, Schulen, etc.) deutlich gestiegen.

In den nachfolgenden Kapiteln sind die verschiedenen Aspekte stichwortartig zusammengefasst.

4.1 Bohrlochtemperaturen

Wichtigste Erfahrungen und Ergebnisse:

- Zentrale Grösse von PERMOS
- Förderung des Prozessverständnisses

Zu lösende Probleme:

- Schliessen der geografischen Lücken
- Standardisierung der Technik, Minimierung von Datenlücken (Funk/Natell-Übertragung)
- Diversifizierung der Standorttypen (Lockerschutt, Fels)
- Systematische Re-Kalibrierung der Thermistorketten

4.2 Bodentemperaturen

Wichtigste Erfahrungen und Ergebnisse:

- Verbesserung der Messmethodik
- Separierung der Einflussgrößen (Schnee, Strahlung, Bodencharakteristik)

Zu lösende Probleme:

- Schliessen der geografischen Lücken,
- Auswertung eines vollständigen Jahreszyklus konnte noch nicht durchgeführt werden

4.3 Luftbilder und Photogrammetrie

Wichtigste Erfahrung und Ergebnisse:

- Geschwindigkeit der Blockgletscher variieren zeitlich stark

Zu lösende Probleme:

- Ursache der Veränderungen noch nicht verstanden

4.4 Geophysikalische Monitoring

Wichtigste Erfahrungen und Ergebnisse:

- Ermöglicht wichtige Aussagen betreffend Bodencharakteristik (Wasser-, Eisgehalt)
- Wichtige Ergänzung zu Temperaturmessungen

Zu lösende Probleme:

- Automatisierung der Messungen (über Datalogger der Temperaturmessungen)

4.5 Personal und strukturelle Stellen

Wichtigste Erfahrung und Ergebnisse:

- Die involvierten Personen setzen sich für PERMOS ein und fühlen sich verpflichtet.
- Kleine Anzahl kompetenter Fachleute
- Keine strukturellen Stellen für wissenschaftliche Abgänger

Zu lösende Probleme:

- Schaffung mindestens einer strukturellen Koordinationsstelle (Teilamt) für PERMOS.

5 Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die von der wissenschaftlichen Basis initiierten und weitgehend unterhaltenen Messungen des Pilot-Messnetzes müssen nach Ende 2005 in die dafür zuständigen Institutionen und Strukturen integriert werden. Dabei ist zu beachten, dass mittelfristig ein integrales Kryosphärenmessnetz anzustreben ist. Im April 2005 wurde der Entwurf zur PERMOS-Verankerung nach Ablauf der Pilotphase bei der Permafrost-Koordinationsgruppe und der Glaziologischen Kommission in die Vernehmlassung gegeben.

Nachdem in der Pilotphase die methodischen und operativen Aspekte eines schweizerischen Permafrostbeobachtungsnetzes geklärt sind, muss PERMOS ab 2006 strukturell und finanziell in den nationalen, dafür zuständigen Institutionen (Umweltbeobachtung, Bewilligungsbehörden sowie weitere Stakeholder) verankert werden. Dabei sind folgende Überlegungen zu berücksichtigen:

- Permafrost ist als Naturphänomen nicht direkt sichtbar. Daher gestaltet sich das Monitoring komplex und technisch aufwändig. Es ist kaum vergleichbar mit routinemässig erhobenen Umweltbeobachtungen wie beispielsweise das klimatische oder hydrologische Monitoring. Die erhobenen Parameter müssen forschungsnah mit der entsprechenden Kompetenz interpretiert, hinterfragt und integriert werden. Die operative Umsetzung soll daher im Auftrag durch die in der Permafrostforschung aktiven schweizerischen Institute erfolgen.
Die PERMOS-Stationen weisen aufgrund der unterschiedlichen Forschungsziele, die zur Erstellung der Stationen geführt hatten, unterschiedliche Ausrüstungen und Installationen aus. Die weitergeführten Stationen müssen einen entsprechenden hohen technischen Standard aufweisen. Einige Stationen bedürfen daher einer Anpassung.
- PERMOS ist in die internationalen Permafrost-Beobachtungsnetze (PACE21, GTN-P, CALM) integriert und hat insbesondere bezüglich Gebirgspermafrost international eine führende Funktion inne.
- Grundsätzlich sind die von der WMO im Rahmen der GCOS/GTOS bzgl. Monitoring etablierten Standards zu berücksichtigen. Die so genannte „Tier Structure“ umfasst (1) grosse Transekte (PACE), (2) hochauflösende prozessorientierte oberflächennahe Studien, (3) regionale Bohrlochtemperaturen bis 20m und in grösserer Tiefe, (4) Untersuchungen der Repräsentativität durch Verbreitungserhebungen und (5) Kombination von in-situ Messungen, Fernerkundung und globalen Zirkulationsmodellierungen zur Gewährleistung einer globalen Betrachtungsweise.

Konkret ergeben sich daraus folgende Empfehlungen:

- a) Das Konzept mit den drei Pfeilern (1) Bohrlochmessungen (inkl. geophysikalisches Monitoring) (2) Bodentemperaturen und (3) Luftbildererhebung soll bestehen bleiben.
- b) Die verschiedenen potenziellen Stationen (Bohrlochtemperaturen, Bodenoberflächentemperaturen, Felstemperaturen, Luftbildgebiete) sind 2006 nach klaren Kriterien zu evaluieren und in das definitive PERMOS-Netz aufzunehmen.
- c) Die offiziellen PERMOS-Stationen müssen auf einen einheitlichen Standard bezüglich Messmethodik und Technik gebracht werden.
- d) Neue Stationen müssen nach denselben Kriterien geprüft und beurteilt werden.
- e) Erwähnte Mängel (z.B. systematische Kalibrierung) müssen ab 2006 bestmöglich behoben werden.
- f) Die erwähnten (insbesondere die geografischen aber auch die technischen) Lücken müssen unter Berücksichtigung einer Priorisierung ergänzt werden.
- g) Für die Koordination von PERMOS soll eine 50%-Teilzeitstelle geschaffen werden. Die Stelle ist mit einer qualifizierten Person (mindestens promovierter/e Naturwissenschaftler/In) zu besetzen.
- h) Mittelfristig ist eine Koordination der nationalen Messnetze für Schnee, Gletscher und Permafrost anzustreben.

5.1 Kundenbedarf – Repräsentanz des Messnetzes

PERMOS stellt die Ergebnisse des Messnetzes grundsätzlich allen Interessierten zur Verfügung. Während der Pilotphase haben sich Kontakte zu verschiedenen Kunden ergeben:

Ämter, die mit der Umweltbeobachtung im Hochgebirge beauftragt sind

- Nationale und internationale Forschungsgruppen
- Ämter und Beratungsbüros, welche mit Raumplanungsaufgaben betraut worden sind,
- Internationale Beobachtungsprogramme und Datenzentren
- Bergbahnen
- Bauunternehmungen
- Tourismus
- Journalisten und Medien
- LehrerInnen und SchülerInnen (Gymnasien, aber auch aus Lehrberufen)

Die Bedürfnisse sind je nach Kundenart unterschiedlich. Zumeist wird nach einer möglichst aussagekräftigen, knappen Darstellung gefragt, um darzulegen, wie sich der Permafrost verändert hat. Es wird aber auch um möglichst lange, vollständige Datenreihen angefragt (World Data Centers, kantonale Ämter).

5.2 Auftrag PERMOS

Ab 2006 soll PERMOS durch eine Trägerschaft mit mehreren Partnern strukturell und finanziell verankert werden. Das operative Messnetz soll evaluiert, vereinheitlicht und systematisch ergänzt werden.

Konkret werden folgende Schritte vorgeschlagen:

- Die während der Pilotphase etablierte und bewährte Partnerschaft der beteiligten Institutionen soll weitergeführt werden, vertraglich abgesichert und gegebenenfalls mit neuen Partnern ergänzt.
- Sämtliche verfügbaren PERMOS-Stationen werden im Jahre 2006 gemäss transparenten Kriterien beurteilt und eine Auswahl künftiger weiterzuführender Stationen getroffen.
- Die ausgewählten Stationen werden auf einen einheitlichen technischen und methodischen Standard gebracht und allfällige Mängel behoben. Die dafür notwendigen Mittel werden auf rund Fr. 50'000.— geschätzt.
- Betrieb, Unterhalt und Koordination werden mit einem jährlichen Aufwand von rund Fr. 130'000.— gewährleistet.
- Geografische, insbesondere klimaregionale Lücken von PERMOS sind kontinuierlich zu schliessen. Die Ergänzungen werden durch gezielte Investitionen und Installationen etappiert, priorisiert und verteilt über mehrere Jahre umgesetzt (grobe Schätzung rund Fr. 870'000.—).

5.3 Organisation

Die Organisationsform ist mit den beteiligten Partnern zu erörtern. Am 5. September 2005 war eine Sitzung zwischen den Vizedirektoren des BUWAL und des BWG, einem Zentralvorstandsmitglied der SCNAT und PERMOS vereinbart. Die Organisation und die vertragliche Regelung hätten dabei bereinigt werden sollen. Allerdings musste diese Sitzung aus verschiedenen Gründen verschoben werden. Anzumerken ist an dieser Stelle, dass einerseits ab 2006 die beiden Ämter BUWAL und BWG zum BAFU (Bundesamt für Umwelt) fusioniert werden, andererseits die SCNAT sich grundlegend reorganisiert. Diese Veränderungen sind bei der Organisation zu berücksichtigen.

Grundsätzlich ist vorgesehen die strategische Leitung von PERMOS einem „Steering Committee“ zu übertragen, in welchem die finanzierenden Partner (SCNAT, BAFU, MeteoSchweiz, Hochschulinstitute) vertreten sind. Die 50%-Koordinationsstelle führt PERMOS operativ und steht im engen Kontakt mit den im Feld operativ tätigen PERMOS-Partnern. Eine Expertenkommission fungiert als wissenschaftlicher Beirat.

5.4 Finanzierung ab 2006

Die Aufteilung der Kosten auf die Partner hat sich während der Pilotphase bewährt. Eine Vereinbarung regelt die Rechte und Pflichten der strategischen Partner, eine Geschäftsordnung deren Bezug zu den operativ tätigen universitären Partnern.

5.4.1 Jährliche Betriebskosten

Sachmittel

In die Betriebskosten sind auch die Aufwendungen für Unterhalt (inkl. Nacheichungen der Temperatursensoren) und Reparaturen (Komponenten Datalogger, die im Hochgebirge insbesondere auch Blitzschlägen ausgesetzt sind) zu integrieren. In untenstehender Zusammenstellung sind die Kosten für Amortisationen nicht enthalten.

Grobe Schätzung der jährlichen Kosten für Betrieb, Unterhalt und Reparaturen:

Betrieb 15 Bohrungen à 1'500.—	22'500.—
Unterhalt und Reparaturen 15 Bohrungen	7'500.—
Eichung 15 Bohrungen Temperaturketten (à 2'000.—; Turnus 10Jahre)	3'000.—
Geophysikalisches Monitoring an ausgewählten Bohrstandorten	6'000.—
Betrieb 12 BOT-Stationen à 1'500.—	18'000.—
Betrieb 6 Felstemperatur-Stationen für BOT/BTS (à 2'000.—)	12'000.—
Unterhalt und Reparaturen 12 BOT/BTS-Stationen	6'000.—
Wiederholungsmessungen BTS-Gebiete (Turnus 12 Jahre)	1'000.—
Luftbildflug (1 bis 2)	5'000.—

Total jährliche Betriebs- und Unterhaltskosten: 81'000.—

Koordination PERMOS

Die Permafrost-Beobachtung ist technisch und logistisch aufwändig. Dementsprechend muss der Betrieb fachkompetent und professionell koordiniert werden und es müssen verbindliche Aufträge (basierend auf Vereinbarungen) an die Partnerinstitutionen erteilt werden. Es ist ein Mandat von 50 Stellenprozent einzusetzen.

Koordination (50 Stellen%): 50'000.—

Für allfällig spezifische Auswertungen und weiterführende Berichterstattung zu speziellen Fragestellungen müsste die Koordination entsprechend erweitert werden.

5.4.2 Umsetzen von Standards, Mängelbehebung

Ein wichtiger Bestandteil für eine zuverlässige, langfristige Temperaturbeobachtung ist eine sorgfältige und in regelmässigen Abständen durchgeführte Kalibrierung der Sensoren. Bisher sind die Betreiber der Bohrlochmessungen für diese Kalibrierung zuständig.

Dataloggerstationen im Hochgebirge sind starken Gewittern, Niederschlägen aber auch anderen Naturgefahren ausgesetzt. Verschiedentlich mussten Stationen nach Blitzschlägen oder Lawinenabgängen repariert oder neu installiert werden. Dadurch entstanden nicht nur Lücken in den Datenreihen, sondern auch Kosten für die Institute. Um eine beschädigte Station bald mög-

lichst erkennen zu können, müssen die Daten in kurzen Zeitintervallen ausgelesen (herunter geladen) und überprüft werden können.

Nach Abschluss der Pilotphase Ende 2005 sollen alle bestehenden Stationen (Bohrungen und BTS/BOT/UTL) auf ihre Eignung und Tauglichkeit hinsichtlich Langzeitmessungen aufgrund klarer, transparenter Kriterien geprüft werden. Die offiziellen PERMOS-Stationen sollen danach auch einen einheitlichen Standard bezüglich Messmethodik, allenfalls gar bezüglich Technik gebracht werden.

Der dafür notwendige Finanzbedarf ist derzeit schwierig abzuschätzen. Er dürfte jedoch in der Grössenordnung von rund Fr. 50'000.— liegen. Die Umsetzung der Standardisierung soll so schnell wie möglich erfolgen, sie kann aber beispielsweise auf die zwei Jahre 2006 und 2007 erstreckt werden.

5.4.3 Einmalige Investitionen ab 2006

Die bestehenden PERMOS-Stationen, insbesondere einzelne Bohrungen, sind nur teilweise für Langzeitmessungen konzipiert. Die geografische Verteilung ist unsystematisch und weist erhebliche Lücken auf. Ausserdem sind die Mess- und Kalibrierungsmethoden je nach Betreiber unterschiedlich.

Nach der Standardisierung und Auswahl definitiver PERMOS-Stationen wird ein Konzept zum zielgerichteten, etappierten PERMOS-Ausbau gemäss formulierter Kriterien der beteiligten Partner (Abdeckung verschiedener Klimaregionen, Repräsentativität, Versuchsstationen hinsichtlich Naturgefahren und Risikobeurteilung) verabschiedet. Zusätzliche Stationen werden untereinander priorisiert (dringende, mittelfristige Stationen). Sie sind gemäss entsprechender Standards zu installieren.

Der Zeitpunkt wann der operative Ausbau beginnen kann ist wohl auch eine Frage der verfügbaren Finanzen. Der Ausbau wird sich jedoch sicherlich über mehrere Jahre erstrecken. Die Installationsphase soll jedoch bis ca 2012 abgeschlossen sein. Strategisch wichtige Stationen (z.B. Region Zentralschweiz) werden zuerst installiert.

Bohrungen: Die verschiedenen Klimaregionen der Schweizer Alpen können mit rund 10 zusätzlichen Bohr-Stationen abgedeckt werden. Zusätzliche Stationen für spezifische Fragestellungen und Versuche im Zusammenhang mit Naturgefahren und Risikoanalyse sind gegebenenfalls ins Auge zu fassen. Entsprechende Zusatzinstallationen (für Deformations-, Hebungs-/Setzungsmessungen etc) sind in untenstehender Aufstellung nicht berücksichtigt.

Kostenschätzung pro Bohrung (20 bis 30m Tiefe):

Standortevaluation und Voruntersuchung	5'000.—
Erstellen einer Bohrung (gemäss Schätzung Stump Bohr AG)	50'000.—
Transportkosten Helikopter, Bohrbegleitung, Diverses	10'000.—
Thermistorenkette, geoelektrisches Monitoring, etc	5'000.—
Meteostation (Temperatur, Schneehöhe, Strahlung)	
Datalogger inkl. GSM-Übertragung	10'000.—

Total pro Bohr-Station: 80'000.—

BOT/BTS/UTL: Während der Pilotphase wurden in drei Regionen (Oberengadin, Berner Oberland, Wallis) Installationen zur methodischen Anpassung eingerichtet. Entsprechende Installationen sind in rund drei weiteren Klimaregionen der Schweiz notwendig.

Kostenschätzung pro Region (3 BOT/BTS-Stationen, 1 Felstemperatur-Station):

3 Einkanal-Temperaturlogger (ca 10 pro Station)	10'000.—
3 BTS-Messungen „Nullmessung, Stand 2005“	5'000.—
1 Methodische Ergänzung Felsgebiet (Felstemperatur-Installation)	5'000.—

Total pro BOT/BTS: 20'000.—

Luftbilder: Die während der Pilotphase erhobene Anzahl Luftbilder (inklusive Zeitintervalle) hat sich bewährt. Selbst wenn das eine oder andere Gebiet hinzu stossen würde, fielen keine namhaften Investitionskosten an. Allerdings sollte die Zugänglichkeit der Luftbilder durch eine Web-Datenbank mit den Quicklooks und Daten der PERMOS-Befliegungen verbessert werden.

Kostenschätzung Web-Datenbank mit Quicklooks (Schätzung): 10'000.—

Total Luftbilder: 10'000.—

Investitionskosten (2006-2012)

10 neue Bohr-Stationen à 80'000.—	800'000.—
3 Klimaregionen à 20'000.—	60'000.—
Web-Datenbank Luftbilder	10'000.—
Total	870'000.—

5.4.4 Zusammenfassung Kosten

(a) Jährliche Kosten ab 2006

Betriebs- und Unterhaltskosten:	81'000.—
Koordination (50% Stelle):	50'000.—
Total pro Jahr	rund 130'000.—

**(b) Standardisierung, Mängelbehebung
(einmalig, Schätzung)**

50'000.—

(c) Einmalige Investition/Installationen 2006-2012

Initiale Installationen (Bohrungen und BOT/BTS)	870'000.—
---	------------------

5.5 Zeitplan

Ab 2006

Betrieb, Unterhalt und Koordination wird mit einem jährlichen Aufwand von rund Fr. 130'000.— gewährleistet.

2006

Sämtliche verfügbaren PERMOS-Stationen werden gemäss transparenten Kriterien beurteilt und eine Auswahl künftig weiterzuführender Stationen getroffen.

2007-2008

Die ausgewählten Stationen werden auf einen einheitlichen technischen und methodischen Standard gebracht und allfällige Mängel behoben. Die dafür notwendigen Mittel werden auf rund Fr. 50'000.— geschätzt (einmalig).

2007 – 2012 (gemäss finanziellen Möglichkeiten)

Geografische, insbesondere klimaregionale Lücken von PERMOS sind kontinuierlich zu schliessen. Sie werden durch gezielte Investitionen und Installationen etappiert, priorisiert und verteilt über mehrere Jahre umgesetzt (Bedarf rund Fr. 870'000.—). Die möglichen Finanzierungsquellen sind zu diskutieren (SNF, Ressortforschung, projektbezogene Subsidiärfinanzierung, EU-Projekte, public-private-partnership).

6 Antrag an die finanzierenden Partner

Der Permafrost-Delegierte der Glaziologischen Kommission der SCNAT beantragt:

- den Schlussbericht über die Pilotphase PERMOS 2000-2005 zur Kenntnis zu nehmen und zu diskutieren,
- grundsätzlich zu beschliessen, PERMOS in einer definitiven Form weiterzuführen,
- eine geeignete Organisationsform, bestehend aus Steering Committee, Geschäftsführung (Koordination), einer Expertengruppe und operativ tätigen Partner einzusetzen,
- die bestehenden PERMOS-Stationen systematisch nach klaren und transparenten Kriterien evaluieren zu lassen und eine definitive Auswahl der weiterzuführenden Stationen zu beschliessen,
- die Vereinheitlichung der definitiven PERMOS-Stationen zu gewährleisten
- eine Vereinbarung und allenfalls eine Geschäftsordnung zu verabschieden, um die Rechten und Pflichten der involvierten Partner zu regeln
- einen Kostenschlüssel bezüglich jährlichen Betriebskosten und einmaligen Kosten für die Standardisierung zu beschliessen.