

Permafrost in den Alpen

Eine Geschichte von Wärme und Kälte, ca. 1965-1995

Working Paper**Author(s):**

Schmid, Julius

Publication date:

2025

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000719850>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 37

JULIUS SCHMID

PERMAFROST IN DEN ALPEN

EINE GESCHICHTE VON WÄRME
UND KÄLTE, CA. 1965-1995

Der vorliegende Text basiert auf einer Masterarbeit, die der Autor im
Dezember 2024 bei Prof. Dr. David Gugerli, Technikgeschichte,
ETH Zürich eingereicht hat.

Inhalt

1 Prolog auf der Baustelle	1
Zum Forschungsstand.....	5
Zum Vorgehen.....	8
2 Auftauchen: Gegenstandsbildung zwischen Hochschule und Baustelle	11
Methodenarbeit.....	13
Verbreitungsmuster	18
Technik und Temperaturen.....	23
Entscheidungen treffen	26
Unruhige Kurven und ein unterbestimmtes Forschungsobjekt.....	30
Ein stabiles Archiv?	34
Zusammenfassung	37
3 Abtauen: Klima, Katastrophe und neue Beobachtungstechniken.....	40
Temperatursignale aufzeichnen	42
Integration im Periglazialgürtel.....	46
Die Klimakatastrophe und ihre Rezeptionsschwierigkeiten	53
Computersimulationen.....	56
Das Labor als Fernsehstudio	62
Die Anschlussfähigkeit des Verborgenen.....	65
Zusammenfassung	69
4 Epilog im Wohnzimmer	72
Dank.....	76
Abbildungsverzeichnis	76
Archivquellen	77
Schweizerisches Bundesarchiv (BAR)	77
Hochschularchiv der ETH Zürich (ETHZ)	78
Zeitungen.....	78
Literaturverzeichnis.....	78

1 Prolog auf der Baustelle

Der Gipfel der Sensation war ein Drehrestaurant, verkleidet mit glänzendem Aluminium und immer ausgerichtet nach der Sonne. Bei Bratwurst und Röstli wollte man den Gästen ein phänomenales Panorama bieten: Der selbst im Sommer verschneite Alpenhauptkamm und die Gruppe von Eiger, Mönch und Jungfrau türmten sich auf, ohne dass die Besucher*innen auch nur den Kopf zu drehen brauchten. Wie automatisch sollten sie ihren Blick über die Gipfel, Runsen und Hochtäler der Walliser und Berner Alpen schweifen lassen. Zwar befand sich das spätere *Piz Gloria* bei der Eröffnung der Seilbahn am 14. Juni 1967 noch im Rohbau; die funkelnde Fassade stand aber schon jetzt emblematisch für ein Projekt der Superlative.¹ Auf das Schilthorn im Berner Oberland fuhr nun die längste Luftseilbahn der Welt. Die Schilthornbahn sollte die an ihrem Fuss gelegene Gemeinde Mürren endlich in ein profitables Tourismusgebiet verwandeln. Auch wenn der knapp 3000 Meter hohe Panoramagipfel nicht unbedingt als alpinistischer Sehnsuchtsort galt – der Ausblick stimmte, die Anbindung an den Verkehrsknotenpunkt Interlaken war gewährleistet und unten im Tal wartete einer der grössten Parkplätze der Schweiz auf den Ansturm der Besucher*innen.

Was war für diese Landschaftserfahrung alles in Bewegung gesetzt worden? Während der Fahrzeit von rund 17 Minuten – beziehungsweise «1010 Sekunden», wie ein Reporter stoppte – überwand die Schilthornbahn eine Höhendifferenz von 2010 Metern.² Das war mehr als genug Zeit um auszublenden, worauf dieses Vergnügen fusste: Tatsächlich beruhte die Gemütlichkeit auf rabiater Arbeit. Von 1965 bis 1967 war auf dem Schilthorn gebohrt, gewühlt und gesprengt worden, für drei lange Saisons. Die Bauarbeiter³ hatten das Gipfelmassiv mit Presslufthammern und Sprengstoff aufgelockert, bis zu 25 Meter tiefe Löcher gebohrt und hunderte Kubikmeter Fels abgetragen. Vielleicht konnten die Tourist*innen von Glück reden, dass sie nicht allzu genau über diese Arbeiten Bescheid wussten. Am Schilthorn war nämlich etwas Eigenartiges, ja regelrecht Unheimliches zum

¹ Das Drehrestaurant machte aus dem Schilthorn tatsächlich so etwas wie eine Alpenikone. Dafür brauchte es allerdings auch einen Kinotrumpf. 1969 erschien das *Piz Gloria* in der James-Bond-Auskopplung *Im Geheimdienst ihrer Majestät*. Die Filmemacher*innen erklärten das Berner Oberland kurzerhand zum Oberengadin und das unvollendete Restaurant zum Geheimquartier ihres Bösewichts. Dafür hatten sie das Gebäude ganz nach ihrem Geschmack ausgebaut. Für die in finanzielle Schieflage geratene *Schilthornbahn AG* kamen die Investition und der Imagegewinn wie ein Segen. Vgl. Bernet 2008, S. 31–41.

² o. A., «Die Schilthornbahn, die längste Luftseilbahn der Welt in Betrieb!», 16.06.1967, BLZ.

³ Bis in die 1990er Jahre begegnen sich in den von mir konsultierten Quellen fast ausschliesslich männliche Akteure. Ingenieurinnen und Wissenschaftlerinnen tauchen in dieser Geschichte in den 1980er Jahren auf, Parlamentarierinnen, Zeitungslernerinnen oder Skifahrerinnen schon vorher. Diese Entwicklung werde ich nicht genauer thematisieren. Auf Sprachebene schafft sie jedoch eine interessante Spannung: Die maskuline Sozialität an den verschiedenen Handlungsorten abzubilden – ob auf der Baustelle oder an der Hochschule – und zugleich die Möglichkeit weiblicher Akteurinnen nicht zu unterschlagen, fällt stellenweise schwer. Eine Universallösung gibt es dafür nicht. Zwischen einer geschlechtsspezifischen und einer geschlechtsneutralen Pluralform entscheide deshalb von Fall zu Fall.

Vorschein gekommen. Eines Tages waren die Arbeiter im Schiefergestein auf ein Artefakt gestossen: eine linsenförmige Eisscholle, ca. 60cm dick und mehrere Meter lang. Ob die Arbeiter von ihrem Fund überrascht waren, ob sie damit gerechnet oder sogar danach gesucht hatten, wissen wir nicht. Fest steht, dass die Arbeit pausiert, der Hammer angelehnt und ein Foto geschossen wurde.



Abb. 1: «Permafrostlinse» im Fels des Schilthorns (Quelle: Gruner und Stöcklin 1967, S. 502.)

Als die Seilbahn im Juni 1967 in ganzer Länge in Betrieb ging und auf dem Gipfel neben der Station und dem unfertigen Drehrestaurant immerhin schon ein Selbstbedienungsbistro und eine Sonnterrasse standen, war von der Eislinse auf dem Schilthorn nichts mehr zu sehen. Sie tauchte aber noch einmal an einem anderen Ort auf: Das obige Foto erschien ca. zwei Wochen nach Inbetriebnahme der Gipfelstation in der *Schweizerischen Bauzeitung*. Dort berichteten zwei Ingenieure von Problemen, die sie beim Bau der Luftseilbahn gelöst hatten. Eine der bewältigten Komplikationen illustrierte besagtes Foto, das zugrundeliegende Problem benannten die Autoren mit dem Stichwort «Permafrost». Das blanke Eis, das grobe Werkzeug, der ausgehobene Fels: Man musste nicht viel von Tiefbau wissen, um zu verstehen, was hier los war. Gefrorene Böden können abtauen und ein sich verflüssigendes Fundament war aus Ingenieurssicht ein absoluter Alptraum. Die Techniker

sahen sich zu einer umfangreichen «Sanierung» des Schilthorns veranlasst und liessen das verwitterte Gipfelmassiv mit Felsankern und Drahtseilen verschnüren. Die Station bauten sie auf einem künstlichen Hohlraum, um möglichst wenig Wärme aus dem Gebäude in den Fels entweichen zu lassen.⁴

Die Eislinse verbildlichte für die Ingenieure eine schwerwiegende Komplikation. Damit hatte das obige Foto auch etwas Klärendes an sich. Immerhin war «Permafrost» für einen Moment etwas, das man fotografieren konnte! Zwar kursierte das Schlagwort schon seit einigen Jahren im Alpenraum, was es an diesem Ort konkret bedeutete, hatte man jedoch lange vernachlässigen können. In der «Permafrostzone» waren Ingenieure und Bauarbeiter im Blindflug unterwegs. Mit der Eislinse verwiesen die Techniker nun auf eine besonders instabile Stelle, die sie von anderen, stabileren Bereichen unterschied. Die «Permafrostlinse» konkretisierte eine vage Vorahnung; sie manifestierte ein Problem, das ansonsten latent geblieben wäre. Dass die Ingenieure das Permafrostproblem sachgerecht angegangen waren, bezeugte ihnen jenes Eis, das mühsam mit einem Hammer ans Tageslicht geholt und mit einer Fotokamera verewigt worden war. Mit diesem Arbeitszeugnis war das Thema abgehakt, das Schilthorn sicher verschnürt, und der marode Fels wich endlich wieder der hochmodernen Vergnügungslandschaft. Die zwei Ingenieure machten den Permafrost kurz sichtbar, so radikal und explizit wie nur möglich, um das Problem abschliessend wieder vollkommen verschwinden zu lassen.⁵

Seit dem Bau der Schilthornbahn sind etwas weniger als sechzig Jahre vergangen. Das kollektive Bewusstsein für das Problem Permafrost hat sich seitdem verändert – man kann durchaus sagen, es ist gewachsen. Heute weiss man, dass Permafrost – das heisst Erde oder Gestein mit einer dauerhaften Temperatur unter 0°C – auch im Gebirge ein weit verbreitetes Naturphänomen ist. Permafrost muss laut Definition kein Eis enthalten, weshalb Permafrostböden je nach Lage sehr unterschiedlich aussehen. Permafrostbedingungen findet man auf ca. 5% des Schweizer Staatsgebiets, teilweise in über 100 Meter Tiefe. Permafrost verhält sich im Gebirgsrelief anders als im Flachen. «Gebirgspermafrost» (*mountain permafrost*) bildet heute ein genuines Forschungsfeld, mit eigenen Methoden und Spezialkonferenzen. Gerne erklären Wissenschaftler*innen, um was für ein faszinierendes Fachgebiet es sich handelt. Wilfried Haerberli, einer der Protagonisten dieser Geschichte, schrieb 2009 in einem geowissenschaftlichen Einführungstext: «Mountain permafrost is a fascinating phenomenon: It is invisible, extremely variable and heterogeneous, difficult to measure, difficult to model, and it currently undergoes rapid changes.»⁶ Unsichtbar,

⁴ Gruner und Stöcklin 1967.

⁵ Zum Motiv des Auftauchens und Verschwindens siehe Gugerli 2024.

⁶ Haerberli und Gruber 2009, S. 53.

variabel, heterogen, schwer mess- und modellierbar und noch dazu von rapidem Wandel betroffen. Diese Charakterisierung ist das Gegenteil von dem, was das Foto vom Schilthorn im Jahr 1967 suggerierte. Mit der Eislinse inszenierten die Ingenieure etwas Gegenständliches: eingefroren, isoliert, vergraben. Paradox an dieser historischen Diskrepanz ist folgendes: Obwohl Permafrost heute als ephemeres, heterogenes und dynamisches Phänomen beschrieben wird, ist die wissenschaftliche Sicht auf Bodentemperaturen sehr viel einheitlicher als noch vor 60 Jahren. Gebirgspermafrost können Wissenschaftler*innen bedarfsgerecht lokalisieren und visualisieren. Der Blindflug verläuft – obwohl oder gerade weil man die eingeschränkte Greifbarkeit des Phänomens anerkennt – in aller Regel sicher und angstfrei. So bewusst man sich über die Verbreitung dieses Phänomens ist, so sicher ist man sich über sein langsames Abtauen. An die Stelle einer brachialen Fotografie sind hochauflösende Karten, multidimensionale Computermodelle und unzweideutige Temperaturkurven getreten.

An das Spannungsverhältnis zwischen der *klaren* Eislinse von 1967 und dem *seltsamen* Ding aus dem Jahr 2009 kann man ein paar Beobachtungen anschliessen. Wenn Wissenschaftler*innen von ihrem Forschungsobjekt so wie Wilfried Haerberli sprechen, beherrschen sie es meistens schon. Anders gesagt: Sie besitzen für ihr flüchtiges Faszinosum dann auch stabile Beobachtungstechniken. Wirklich *irritiert* sind Wissenschaftler*innen von Gebirgspermafrost nicht mehr (was die gegenwärtige Klimakrise nur umso eindeutiger macht). In den formativen Jahrzehnten der Gebirgspermafrostforschung zwischen ca. 1965 und 1995 war das anders. Wie widerspenstig Gebirgspermafrost sein kann, lernt man nicht in der Gegenwart. Man erkennt es aber im historischen Wandel – in zahlreichen Momenten, in denen um Worte und Bilder gerungen wurde und in denen Transparenz ein Versprechen blieb.⁷

Wie wurden die Bodentemperaturen im Hochgebirge zu einem Gegenstand kollektiver Wahrnehmung? Und was geschah, als auffiel, dass dieser Gegenstand zu verschwinden begann? Wenn man diesen Fragen nachgeht, tut man gut daran, sich an einige Grundprinzipien zu halten: Das Auftauchen, vor allem aber das Abtauen von Permafrost verläuft weder angenehm noch linear. Diese Prozesse sind von Widerständen, von Abwehr- und Integrationsversuchen, von nicht-intendierten Handlungsfolgen und unerwartetem ökologischen Rückstoss gezeichnet. Gerade aufgrund seiner hohen Anforderung an unsere Vorstellungskraft macht Permafrost auf unvergleichliche Art deutlich: Die Tatsächlichkeit ökologischen Wandels ist auch eine Frage der Perzeption. Die ökologische Krise der Gegenwart wird damit nicht weniger bedrohlich – man kann aber etwas darüber lernen, wie man

⁷ Wie man einen «widerspenstige[n] Gegenstand» historisch nutzbar macht, kann man in Lea Hallers Wissensgeschichte des Cortisons nachlesen. Haller 2012, S. 13–27.

diese Krise in der Vergangenheit wahrgenommen und wie man sie sich erzählt hat. Das ist immer eine kulturelle und womöglich auch eine politische Frage.⁸

Zum Forschungsstand

Geschichtswissenschaftlich ist der Gegenstand Permafrost kaum erforscht. Die einzige systematische Studie stammt von Pey-Yi Chu, die sich mit der Permafrostforschung im Russischen Kaiserreich und in der Sowjetunion zwischen Ende des 19. und Mitte des 20. Jahrhunderts beschäftigt hat.⁹ Permafrostböden in Gebirgsregionen sind aus historiographischer Sicht völliges Neuland.

Einen Forschungsstand im engeren Sinn gibt es also nicht, die historischen Quellen sind bislang unerschlossen. Das Sachgebiet «Eis» hat in der kulturwissenschaftlichen Umweltforschung allerdings Hochkonjunktur. Unlängst haben sich die sogenannten *Ice Humanities* ein disziplinäres Mandat ausgestellt und um dessen Anerkennung geworben. Im gleichnamigen Sammelband skizzieren die Autor*innen ein Teilgebiet der *Environmental Humanities*, das die Beziehungen von menschlichen Gesellschaften und kalten Ökosystemen erforschen soll. Kann man sich bei den *Ice Humanities* etwas anschauen, wenn man eine Geschichte der Permafrostforschung im Alpenraum erzählen will? Die Herausgeber Klaus Dodds und Sverker Sörlin erklären in der Einleitung des Sammelbands programmatisch: «In order to deal with ice as a global challenge we should become reenchanting with it, partly to make it come alive as a 'partner species' to us humans and to formulate a politics of ice to engage and sustain the life forms that have co-evolved with it.»¹⁰ Mit der Rede von einer Wiederverzauberung und einer «Partner-Spezies» propagieren Dodds und Sörlin keine Esoterik, sie argumentieren für eine Umdeutung: «Eis» soll ihrer Ansicht nach nicht einfach einen Krisenzustand spiegeln, als entlegene, schmelzende Natur, die gezeichnet ist von den Folgen menschlichen Handelns. Vereinfacht gesagt verfolgen die *Ice Humanities* das Ziel, «Eis» nicht als passives Gegenüber, sondern als Aktanten zu begreifen. Dafür berichten die Aufsätze des Sammelbands von Gletschern, Eisschilden und Eisbohrkernen, die sie als politisierte Ikonen, «planetarische Reisende» und oder wissenschaftliche Mediatoren reinterpreten.¹¹

Obwohl die Herausgeber explizit davor warnen, ausschliesslich das einsehbare Eis an der Erdoberfläche und auf den Ozeanen zu beachten,¹² widmet sich im Sammelband

⁸ Siehe Schneider 2023.

⁹ Siehe Chu 2020. Sowie Chu 2015. Die Anthropologin Susan Crate hat untersucht, wie sich Sacha in Ostsibirien auf ein von Permafrost geprägtes Ökosystem beziehen. Vgl. Crate 2022.

¹⁰ Dodds und Sörlin 2022, S. 2–3.

¹¹ Vgl. Carey, Barton und Flanzer 2022; Leane 2022; Isberg 2022a.

¹² Vgl. Dodds und Sörlin 2022, S. 9–10.

niemand dem Thema Permafrost, zumindest nicht systematisch. Woran könnte das liegen? Ein einzelnes Buch bietet keine repräsentative Stichprobe und kaum einen erschöpfenden Überblick. Es liefert aber einen Anlass, um über Diskurs- und Debattenlagen zu spekulieren, die zur Beachtung beziehungsweise Nichtbeachtung eines Forschungsgegenstands beitragen. Vielleicht liegt die Marginalisierung von Permafrost in den *Ice Humanities* nicht allein an seiner Unsichtbarkeit. Im Gegensatz zu Gletschern und Eisbergen ist dieses Ding in alles andere als passive Erzählweisen verwickelt: Permafrost gilt als «tickende Zeitbombe», die in den nächsten Jahrzehnten mehrere Gigatonnen an Treibhausgasen in die Atmosphäre emittieren wird und irgendwann einen unumkehrbaren *tipping point* herbeiführen könnte. Andere Bilder aus dem auftauenden Permafrost sind noch viel plastischer: In Sibirien kommen urzeitliche Tierkadaver, giftiges Quecksilber und möglicherweise multiresistente Keime an die Oberfläche, in gigantischen erodierenden Schlammkratern, die man als *Megaslumps* bezeichnet. In den Alpen ist Permafrost der vielleicht auffälligste Lokalakteur der Klimakrise. Steinschläge, Schlammlawinen, instabile Berghütten, verwüstete Täler: Die Berge befinden sich in Bewegung. Begünstigt wird diese Entwicklung vom auftauenden Permafrost.¹³

Sterbende Gletscher werden betrauert und beerdigt – eine distanzerzeugende Konstruktion, an der sich Geisteswissenschaftler*innen problematisierend abarbeiten können.¹⁴ Abtauenden Permafrost betrauert niemand, der kritische Gestus der *Ice Humanities* läuft hier ins Leere. Das heisst nicht, dass posthumanistische Überlegungen in diesem Untersuchungsgebiet grundsätzlich deplatziert wären. Eigentlich muss man sie umso ernster nehmen: Dualismen wie *aktiv/passiv* oder *sichtbar/unsichtbar* halten sich in der Permafrostzone nie lange aufrecht. Es wäre deshalb kaum zielführend, Permafrost zu einer bislang verwehrtten Sichtbarkeit verhelfen zu wollen. Im Lauf dieser Geschichte wird sich vielmehr zeigen, dass sich Unsichtbares in bestimmten Situationen regelrecht aufdrängt, bevor es wieder von der Bildfläche verschwindet. Weniger das Motiv des *Tragischen* als das des *Unheimlichen* sollte man im Hinterkopf behalten. Dessen Ambivalenz, das ständige Schwanken zwischen Präsenz und Abwesenheit, zwischen dem Vertrauten und Fremdartigen, gilt es zu beachten (und zu hinterfragen).¹⁵

Dafür müssen mehrere Zugänge erschlossen und verbunden werden. Nicht nur in Sibirien, auch in den Alpen zeigte sich Bodenfrost zunächst auf Baustellen, wo Permafrostforscher eng mit Ingenieuren zusammenarbeiteten. Um die Geschichte des Permafrosts in den Alpen zu erzählen, sollte man nicht nach unberührter Natur suchen, sondern bei den

¹³ Für deutschsprachige Medienberichte, vgl. exemplarisch Stecher 2021; Wüstholtz 2024.

¹⁴ Vgl. neben den obigen Verweisen auch Carey 2007.

¹⁵ Das «Altbekannte, Längstvertraute» ist in dieser Geschichte die symbolisch-überformte Landschaft der Schweizer Alpen. Freud (1919) 2021, S. 7.

technischen Systemen beginnen. Einen wichtigen Bezugspunkt bilden hier Debatten zwischen der Technik- und Umweltgeschichte. Umweltwissen ist oft in der unmittelbaren Umgebung von Technik entstanden, wie etwa Nils Güttler in seiner Geschichte des Frankfurter Flughafens argumentiert hat.¹⁶ Dabei geht es nicht allein ums Bauen und Bohren, sondern eben auch um kollektive Wahrnehmungskapazitäten. Dass die Wahrnehmung wissenschaftlicher Objekte technologisch bedingt ist, ist in den daran interessierten Geisteswissenschaften ein alter Hut.¹⁷ Diesen Gedanken bringe ich mit jüngeren Diskussionen aus der Umweltgeschichte und den *Science and Technology Studies* ins Gespräch.¹⁸ Umwelt wird in meiner Geschichte durch die Arbeit mit geophysikalischen Instrumenten, aber auch durch hochtechnisierte Verkehrsmittel und Bauwerke produziert.

Das «kollektiv» in kollektiver Wahrnehmung sollte man nicht überlesen. Um Löcher zu bohren, Seilbahnen zu bauen und Forschungsgelder einzuwerben, mussten die Akteur*innen dieser Geschichte sich gegenseitig davon überzeugen, mit was sie es zu tun hatten. Wenn Permafrost in diesem Sinn zu einem Kommunikationsproblem wird, erscheinen Wissensproduktion und technischer Wandel als diskursive Praktiken. Diese Charakterisierung nimmt von einer Logik der personengebundenen Erfindung oder Entdeckung Abstand und beleuchtet stattdessen, wie über professionelle Grenzen hinweg konsensfähige Problematisierungen und Lösungsangebote entstehen.¹⁹ Das geht auf die Kosten einer Erzählung von wissenschaftlicher Weitsicht und gesellschaftlicher Aufklärung (beziehungsweise Gleichgültigkeit), macht dafür aber einiges an Reibung sichtbar. Die Geschichte der Permafrostforschung in den Schweizer Alpen wird so zu einer Geschichte des Klimawandels, die weder rationalistisch noch konspirativ argumentiert.²⁰

Ausserdem helfen mir medienwissenschaftliche Überlegungen. Die Wahrnehmung von Bodentemperaturen ist immer eine vermittelte. Was die Rolle der Vermittlung, sprich des *Mediums*, spielt, lege ich nicht kategorisch fest.²¹ Es ist ein aktEURsspezifisches Problem – genauso wie die Frage, was «Permafrost» zu einem gegebenen Zeitpunkt und an einem gegebenen Ort *ist*. Als Vermittlungsinstanzen tauchen in dieser Geschichte verschiedenste Dinge auf: Karten, tabellierte Datensätze, Plots, wissenschaftliche Zeitschriften, Anträge, Presseberichte, Präparate, Computersimulationen und immer wieder Erdböden. Insbesondere in letzterem Fall ist Vorsicht geboten: Zwar treten Permafrostböden in dieser

¹⁶ Vgl. Güttler 2023. Siehe auch Speich Chassé 2003; Pritchard 2011.

¹⁷ Diese Diskussion geht u.a. auf den Begriff der *Phänomenotechnik* bei Gaston Bachelard zurück, den Bruno Latour und Steve Woolgar 1979 in *Laboratory Life* produktiv machten. Vgl. Latour und Woolgar (1979) 1986, S. 63–69. Siehe auch Rheinberger 2005.

¹⁸ Vgl. Sörlin und Wormbs 2018.

¹⁹ Vgl. Gugerli 1996, S. 11–14; Haller 2012, S. 22–25.

²⁰ Das heisst nicht, dass solche Narrative nicht ebenfalls ihre Berechtigung hätten. Für eine Entdeckungsgeschichte des Klimawandels, siehe Weart 2008. Für eine Geschichte der organisierten Klimawandelleugnung, siehe Oreskes und Conway 2010.

²¹ Siehe dazu Horn 2007.

Geschichte, mal mehr und mal weniger explizit, als Informationsträger in Erscheinung; was für Informationen sie auf welche Art tragen, ist aber stets auszuhandeln und hängt von der geografisch-historischen Situation ab.

Eine besondere Rolle für die kollektive Wahrnehmung eines unsichtbaren Naturphänomens spielt dessen Visualisierung. Häufig werde ich im Lauf dieser Geschichte historische Bilder untersuchen: Diagramme und Karten, später Fernsehaufnahmen und Computeranimationen. So aufwendig die Herstellung solcher Bilder ist, so selten fällt heute Licht auf die Entscheidungen, die ihnen zu Grunde liegen. Die gegenwärtige Selbstverständlichkeit technischer Bilder – seien es Röntgenbildern, Wirtschaftsgraphen oder Permafrostkarten – verblasst erst in der historischen Rückschau, «dort, wo über die Herstellung von Bildern und nicht nur über die Bilder selbst debattiert wird», wie David Gugerli und Barbara Orland in ihrem Sammelband *Ganz Normale Bilder* beobachten.²² Seit man in den Kulturwissenschaften in den 1990er Jahren über einen *pictorial turn* zu diskutieren begann, sind zahlreiche theoretische wie gegenstandsorientierte Studien entstanden, auf die ich im Folgenden zurückgreifen werde.²³

Zum Vorgehen

Die Geschichte der technischen und wissenschaftlichen Bearbeitung von Dauerfrost in den Schweizer Alpen berührt Diagramme und Bauwerke, soziale Formierungsprozesse und nationale Selbstverortungsversuche. Um ihr gerecht zu werden, muss man eine Schnittstelle von Wissenschafts-, Medien-, Umwelt- und Technikgeschichte finden. Dieses Vorgehen ist anspruchsvoll, weil die unterschiedlichen Analyseebenen den Kontakt verlieren können. Ich versuche sie deshalb begrifflich zusammenzuführen.²⁴

Wenn sich etwas Unbequemes am Rande der Aufmerksamkeit regt, ist es naheliegend, es effektiver als bisher wegzustossen, sich abzugrenzen und das Andersartige zu *isolieren*. In dieser Geschichte bezeichnen Begriffe wie Trennung, Abgrenzung oder eben Isolation eine Arbeit, die mit Messinstrumenten, Computern, Betonmischern, Forschungsanträgen oder Fernsehkameras erfolgen kann. Mal arbeiten die Akteur*innen an der geografischen Abgrenzung von Permafrost, mal geht es um die Isolation eines Gebäudes, in manchen

²² Gugerli und Orland 2002a, S. 11–13.

²³ Für eine zeitgenössische Diskussion des *pictorial turns* in der Geschichtswissenschaft, siehe Gugerli 1999. Für diesen Text besonders wichtige Referenzen: Latour 1986; Jones und Galison 1998; Heintz und Benz 2001; Dommann 2003; Heßler und Mersch 2009; Schneider 2018.

²⁴ Die Begriffe des *Isolierens* und des *Integrierens* insistieren, dass Sinnggebung nicht allein im Kopf, sondern auch draussen in der Welt stattfindet. Wahrnehmung wird so zu einer Frage von materiellen Konfigurationen: von Messapparaten, Wänden, Körpern, Luft und Erde. Wie Materie intelligibel wird und wie dieser Prozess von bedeutungstiftenden Grenzziehungen abhängt, analysiert Karen Barad mit dem Begriff des *agential cut*. Siehe Barad 2007, S. 139–141.

Fällen um disziplinäre Grenzen oder sogar um die Grenzen von Gesellschaft und ökologischer Umwelt. Technische Systeme müssen im Hochgebirge ihre thermischen Verhältnisse regeln. Um den Wärmefluss zwischen einem Gebäude und seiner Umgebung zu minimieren, werden kritische Segmente isoliert, zum Beispiel durch Hohlräume. Die Entscheidungsgrundlage für solche Massnahmen bieten Diagramme, die Temperaturunterschiede visualisieren und problematische von unproblematischen Bereichen trennen – wie beispielsweise eine Permafrostverbreitungskarte. Was von was getrennt wird, oder wie sich Innen und Aussen (oft: die *Umwelt*) definieren, ist eine situative Frage. In allen Fällen lautet der gemeinsame Nenner: Wärme und Kälte halten sich nie vollständig an Grenzen und Behälter – weder an Mauern und Fundamente noch an Verlaufslinien und Begriffe. Praktiken der *Isolation* funktionieren deshalb nur unter der ausreichenden Berücksichtigung von Transgression.

Wenn sich solche Prozesse nicht mehr ausreichend abschirmen lassen, muss man sie *integrieren*. Verborgenes muss mit Bekanntem, Verdrängtes mit Vorstellbarem, Instabiles mit Stabilem verbunden werden. Bröckelnde Felspartien oder ganze Gipfelmassive können Ingenieur*innen mit Drahtseilen oder Beton in ihre technischen Überlegungen einbeziehen. Besonders sind aber nicht nur die technischen, sondern auch die sozialen Verhältnisse, in denen ein Objekt wie Permafrost erscheint. Es irritiert Aussenstehende und setzt Insider unter Legitimationsdruck. Damit sich darum eine Gemeinschaft von Expert*innen ansiedelt, muss das Fremde mit dem Vertrauten, das Verborgene mit dem Einsehbaren assoziiert werden. Praktiken der *Integration* spielen sich auf technischer, ökologischer, auf diskursiver und auf gesellschaftlicher Ebene ab.

Der geografische Fokus dieser Geschichte liegt auf den Schweizer Alpen, auch wenn transnationale Netzwerke für ihren Verlauf eine wichtige Rolle spielen und deshalb immer wieder Bezüge zu anderen Alpenländern oder zur Arktis aufleuchten. Die Schweizer Hochschulen waren bis in die 1990er Jahre nicht nur der Ausgangs- sondern auch Mittelpunkt der Permafrostforschung im Alpenraum. Zudem wird sich am Ende dieser Geschichte zeigen, dass das Thema Permafrost in den Schweizer Massenmedien oft in einem dezidiert nationalen Diskussionsraum stattfand. Ausschlaggebend für meine geografische Einschränkung waren aber weniger prinzipielle als pragmatische Überlegungen, denn so konnte ich mit einem dichten und handhabbaren Quellenbestand arbeiten. Dazu zählten wissenschaftliche Publikationen, Medienberichte sowie Archivalien aus dem Hochschularchiv der ETH Zürich und dem Schweizer Bundesarchiv.

Meine Studie nimmt in den 1960er Jahren Fahrt auf und verläuft sich in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre. Sie ist in zwei Teile gegliedert. Im ersten Kapitel beschäftige ich mich mit einer Phase, in der sich Gebirgspermafrost als Problemgegenstand zwischen

Baubranche und Wissenschaft etablierte: Als sich in den Nachkriegsjahrzehnten Baufirmen ins Hochgebirge vortrauten, entwickelte sich das Fundament zur Komplikationszone. Seilbahn Pfeiler, Gipfelstationen und Berghäuser liessen sich im dauerhaft gefrorenen Boden oberhalb der Baumgrenze nicht auf die gleiche Art und Weise wie im Tal fundieren. Dieses baustatische Problem wurde schnell mit einem Gegenstand assoziiert: Permafrost. Sein *Auftauchen* bereitete gleichermassen Bautechniker*innen wie Glaziolog*innen Kopfzerbrechen.

Ende der 1980er Jahre geriet die Gebirgspermafrostforschung in den Resonanzraum einer breiten Klimadebatte. In den Mittelpunkt der Forschungsbemühungen glitt damit nach und nach das grossflächige *Abtauen* hochalpiner Böden. Zuvor hatten sich Techniker*innen vor allem für Temperaturstörungen im kleinen Massstab interessiert. Nun hing das Auftauen von Permafrost mit Prozessen in der Erdatmosphäre zusammen, im Zeitrahmen von Jahrzehnten bis Jahrhunderten. Permafrost wurde von einem baustatischen Problem zu einem umwelttechnischen Stabilitätsfaktor, einem natürlich «Kitt», «Klebstoff» oder einer «Armierung» der Berge. Für Wissenschaftler*innen, Ingenieur*innen und Journalist*innen entwickelte der unheimliche Gegenstand plötzlich Veranschaulichungspotenziale für den Zusammenhang von Klima und Katastrophe. Darum geht es im zweiten Teil der Geschichte.

Ein symmetrischer Aufbau birgt seine Risiken. Es ist verlockend, das Spannungsverhältnis des *Auftauchens* und des *Abtauens* zu strapazieren. Doch nicht alles verschiebt sich an der Schwelle zu den 1990er Jahren. Grundsätzlich kommen die zwei Aufmerksamkeitsmuster – das *Auftauchen* und das *Abtauen* – nie ohneinander aus. Sie sind nicht komplementär, sondern kodependent: Gebirgspermafrost tauchte als baustatisches Problem auf, weil er sensibel auf thermische Störungen reagierte – weil der Boden in der Umgebung von Seilbahnen, Ingenieur*innen und Skifahrer*innen abtaute. Umgekehrt erhärtete sich der Zusammenhang von Klima, Katastrophe und Permafrost, weil Wissenschaftler*innen ihre Beobachtungstechniken anpassten – weil Permafrost bei seinem Abtauen in veränderter Gestalt auftauchte.²⁵

²⁵ Analoges könnte man über die Praktiken des *Isolierens* und des *Integrierens* sagen.

2 Auftauchen: Gegenstandsbildung zwischen Hochschule und Baustelle

Es lohnt sich, für einen Moment auf das Schilthorn zurückzukehren. Die dortige Situation um das Jahr 1967 beschreibt so etwas wie die historische Ausgangslage dieser Geschichte. Bereits in den 1950er Jahren waren in den Alpen immer höhere Seilbahnen gebaut worden, teilweise bewegten sie sich in der Nähe der 3000-Meter-Marke. 1955 brach die Pendelbahn auf den 3057 Meter hohen Piz Nair im Oberengadin den Höhenrekord für die Bergstation einer Seilbahn. Auch dort hatten die Ingenieure mit dem gefrorenen Fels zu kämpfen.²⁶ In solchen Höhenlagen wurde das Bauen zum Problem, denn der Boden erwies sich stellenweise als temperatursensibel und beweglich. Gipfelstationen und Berghäuser (und an anderer Stelle Staumauern, Telegrafie- und Militärposten) konnten Techniker nicht wie unterhalb der Baumgrenze fundieren.

In dieser Problemlage tauchte auch die Eislinse auf dem Schilthorn auf (Abb. 1). Das später in der *Schweizerischen Bauzeitung* publizierte Foto verbildlichte eine fundamentale Schwierigkeit: Das ganze Arrangement – der Fels, die Eislinse, der angelehnte Hammer – erzählte von der *Ent-Deckung* von etwas Verborgenen, vom Auftauchen von etwas Unsichtbarem. So verwies das Foto auf ein *Wahrnehmungsproblem*: Das geologische Artefakt hatte vor dem Auftritt des Vorschlaghammers unerkannt im Gipfelmassiv geruht. Für die Planung einer Luftseilbahn war das schon für sich genommen ein Problem. Es stellte sich den Techniker, bevor das erste Fundament gegraben oder der Beton angerührt wurde, denn um auf Komplikationen reagieren zu können, mussten diese sich erst einmal zeigen. Wo war der Boden fest und wo beweglich? Wie tief reichte der Permafrost in den Untergrund und wie war er aufgeschichtet? Am Schilthorn führten die Ingenieure vor den eigentlichen Bauarbeiten mehrere Bohrungen durch, die ihnen einen Blick ins Erdinnere verschaffen sollten. Laut eigener Auskunft suchten sie nach Indizien wie jener massiven Eislinse, die auf der Baustelle zum Vorschein kam. Dabei vertrauten sie auf die Expertise von Robert Haefeli – Glaziologe von internationalem Renommee und inzwischen Leiter eines eigenen Ingenieurbüros.²⁷ Haefeli wusste selbstverständlich von der Existenz von Permafrostbedingungen in den Alpen, eine Koryphäe war er aber auf dem Gebiet der Schneemechanik.²⁸ Auf dem Schilthorn manifestierte sich das Wahrnehmungsproblem rund um das Objekt «Permafrost» noch in rudimentärer Form. Was wäre dort zum

²⁶ Vgl. Maurhofer 2006.

²⁷ Vgl. Gruner und Stöcklin 1967, S. 503. Zur Biographie Robert Haefelis siehe Fuchs 2024. Zur Rolle Robert Haefelis in der internationalisierten Glaziologie in den 1950er Jahren siehe Pfäffli 2015.

²⁸ Als 1950 beim Tunnelbau im Eisschild auf dem Jungfraujoch neben besonders kaltem Eis auch Permafrost entdeckt wurde, erwähnte Haefeli dies zwar, widmete sich aber ausschliesslich dem Kriechverhalten des Gletschers. Haefeli 1960.

Vorschein gekommen, wenn die Bahn einige Jahre später gebaut worden wäre? Vielleicht hätten dort schon Spezialisten gearbeitet, die sich von einem klassischen glaziologischen Experten wie Robert Haefeli distinguieren hätten. Den Blick ins Erdinnere hätten sie wohl nicht mehr allein durch Bohrungen hergestellt, sondern auch mit Sondierungsverfahren, für die sie an der Oberfläche geblieben wären.

Der Begriff «Permafrost» kursierte im Alpenraum zu diesem Zeitpunkt zwar schon länger, er hatte aber selten das Interesse von Ingenieuren oder Glaziologen geregt. Bereits in den 1920er Jahren untersuchten Geografen und Geologen in den Alpen «arktische Bodenformen», die sie morphologisch beschrieben und mit ähnlichen Landschaftsbildern aus den Polargebieten verglichen.²⁹ In den 1960er Jahren verschoben sich die Methoden und die Motivation solcher Forschung. Ungefähr zur gleichen Zeit, als auf dem Schilthorn eine Gipfelstation und ein Drehrestaurant gebaut wurden, begann ein Systematisierungsschub in der Erforschung von alpinem Permafrost. Diese Forschung formierte sich als geophysikalisches Wissensfeld. Viele der Verfahren, die bald in den Alpen zum Einsatz kamen, hatten Ingenieure und Geologen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts unmittelbar in der Anwendung entwickelt und verfeinert (etwa bei der Suche nach Erdölquellen).³⁰ Seit den 1950er Jahren arbeiteten auch Glaziologen immer häufiger mit geophysikalischen Verfahren.³¹ Und auch in der arktischen Permafrostforschung waren geophysikalische Methoden zu diesem Zeitpunkt fest etabliert. Auf all diese Wissensbestände griffen nun Wissenschaftler und Ingenieure in den Hochalpen zurück. Dafür adaptierten sie verschiedene Sondierungsverfahren für eine Anwendung auf gefrorenem Boden. Relevant war bald weniger die äussere Erscheinung als das Innenleben des Hochgebirges. Bei diesem Wissenstransfer trafen die neuen Spezialisten aber auf die ein oder anderen Übersetzungsschwierigkeiten.

In den Nachkriegsjahrzehnten tauchte Permafrost auf Baustellen auf – und kurze Zeit später in glaziologischen und geologischen Aufsätzen, in Forschungsanträgen, technischen Skizzen und Fachzeitschriften. In der Schweiz siedelte sich in den Hochalpen ein spezialisiertes Milieu von Wissenschaftlern und Technikern an. Dessen Bezugspunkt war zunächst aber relativ instabil – und zwar nicht allein in baustatischer, sondern auch in konzeptueller Hinsicht. Permafrost, wie er am Schilthorn auftauchte, war offensichtlich ein reliefabhängiges Naturphänomen. Noch nicht ausbuchstabiert war hingegen, wie sich dieser Gegenstand in die Forschungslandschaft an den Schweizer Hochschulen, die technischen

²⁹ Die ersten Untersuchungen der Blockgletscher im Schweizer Nationalpark stammen von den Geografen Emil und André Chaix. Vgl. Chaix 1919. Das Zitat stammt von Salomon 1929, S. 1. Für eine frühe technische Betrachtung, siehe Campell 1954.

³⁰ Siehe Bowker 1994.

³¹ Insbesondere im Umfeld der polaren Eiskernforschung, die während des *International Geophysical Years* von 1957-1958 vorangetrieben wurde. Martin-Nielsen 2013, S. 58. Siehe auch Achermann 2020.

Expertise in der Baubranche oder in die internationale und polarorientierte Permafrostforschung integrierte. Wie Permafrost sich im Gebirge verhielt, was für Konsequenzen dieses Verhalten hatte und mit welchen Methoden man das bestimmte, galt es auszuhandeln. Was die Akteure von der Geothermik zu sehen bekamen, hing von ihren Instrumenten, aber auch von diskursiven Verbindungen und dem sozialen Kontext ihrer Arbeit ab. Um das zu belegen, begleite ich sie zunächst bei ihrer Forschungsarbeit im Gelände, bevor es zurück auf die Baustelle und zuletzt ins institutionelle Umfeld eines brisanten Hochschulprojekts geht.

Methodenarbeit

In der zweiten Hälfte der 1960er Jahre begannen Geografen und Geologen, Funde von Bodenfrost in den Hochalpen zu systematisieren. Man merkt diesen frühen Publikationen an, wie abhängig die Autoren von Hinweisen der Baufirmen und Bahnbetriebe waren: Per «freundlicher brieflicher Mitteilung» hätten ihn die Ingenieure der Corvatschbahn darüber informiert, dass sie beim Ausheben der Stützfundamente auf mit Eis gefüllte Felsspalten gestossen waren, berichtete etwa der Geomorphologe Dietrich Barsch, Professor an der Universität Basel.³² Barsch und seine Kollegen stellten bald fest, dass Permafrost in den Alpen nicht sporadisch, sondern weit verbreitet und ausserdem in unterschiedlichen Formen auftrat.³³ Ihre Dokumentationsarbeit ergänzten sie bald mit Feldstudien. Ab 1965 leitete Barsch Untersuchungen an Blockgletschern. Besonders an Barschs Forschung war, dass der Geomorphologe sich nicht bloss für das Aussehen und die Bewegung, sondern auch für das Innere der Blockgletscher interessierte. Blockgletscher sind Schutthalden, die wie versteinertes Lava in Zeitlupe den Berg hinabkriechen. In «aktiven» Blockgletschern liegt eine Eismasse verborgen. Dabei handelt es sich nicht um geröllbedecktes Gletschereis, sondern um «eine besondere Erscheinung des Permafrostes», wie Dietrich Barsch 1969 schrieb.³⁴

Das Wort «Permafrost» suggeriert Kontinuität, Bodentemperaturen sind aber saisonalen Schwankungen ausgesetzt. Als Permafrost bezeichnet man einen Untergrund, dessen Temperatur seit mindestens zwei Jahren unter 0°C liegt.³⁵ Über dem eigentlichen Permafrost liegt eine sogenannte *Auftauschicht*, die im Sommer abtaut und im Winter gefriert.

³² Barsch 1969b, S. 10.

³³ Vgl. auch Furrer und Fitze 1970.

³⁴ Barsch 1969b, S. 11. Vgl. auch Barsch 1969a. Die Einschätzung, dass Blockgletscher stets ein Permafrostphänomen und keine Vergletscherungen darstellten, setzte sich in den nächsten Jahren nach und nach durch.

³⁵ Die bis heute gängige Definition von Permafrost formulierte der russische Geologe Michail Sumgin erstmals 1927. Sumgins Verständnis wurde in der UdSSR in den folgenden zwei Jahrzehnten institutionell und kulturell verankert und entwickelte sich zur Standardbeschreibung von Bodenfrost. Vgl. Chu 2020, S. 69–103.

Permafrostbedingungen liegen also nicht an der Erdoberfläche vor. Um das Objekt «Permafrost» genauer zu verorten, kann man es deshalb von der saisonal auftauenden Deckschicht trennen. Das versuchte auch Dietrich Barsch. 1973 veröffentlichte der Professor aus Basel einen Aufsatz in der *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*. Von einem Vermessungsbüro hatte er eine Höhenlinienkarte des Blockgletschers Murtél 1 in der Nähe des Piz Corvatsch im Oberengadin erstellen lassen. Auf dieser Karte vermerkte Barsch «Gebiete gleicher sommerlicher Auftautiefe» auf dem Blockgletscher.

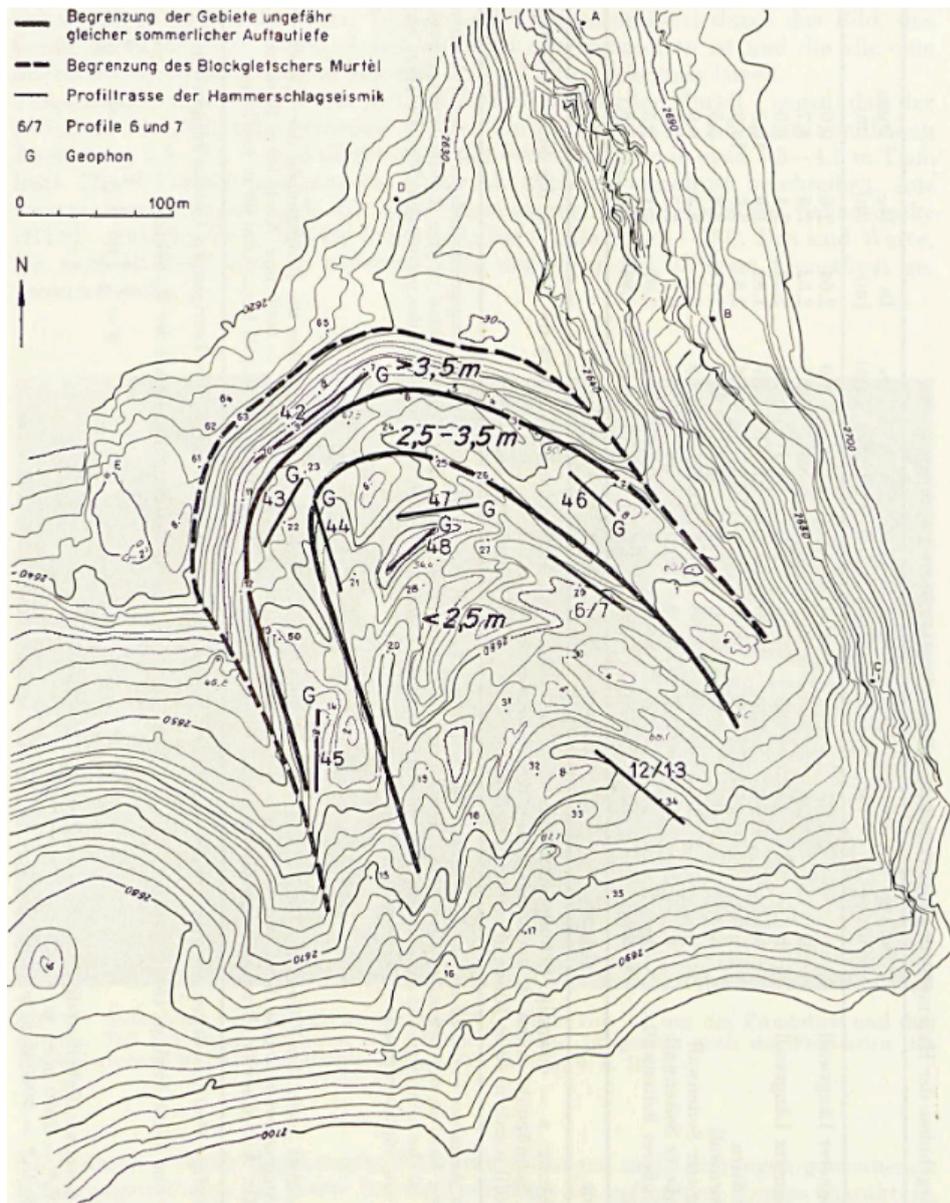


Abb. 2: Auftautiefe und Profiltrassen am Blockgletscher Murtél 1 (Quelle: Barsch 1973, S. 152.)

Am Murtél 1 nimmt mit absteigender Höhe (in Nordrichtung) die Auftautiefe zu, die Permafrostschicht wird dementsprechend dünner. Viel differenziertere Aussagen lassen sich anhand der Karte nicht anstellen. Barsch vermerkte schlicht drei Gebiete des Blockgletschers mit einheitlicher Auftautiefe. Für jedes Gebiet gab er einen einheitlichen

Wertebereich mit einer Unsicherheitsmarge an. Dass die Karte nicht mit einer hohen Genauigkeit auftrumpfen konnte, war für Barsch zu verkraften. Der Autor interessierte sich in seinem Aufsatz weniger für die Grafik an sich als für ihre apparativen Bedingungen. Auch in der Karte war dazu etwas vermerkt: Sie zeigte neben der Tiefe des Permafrosts einige Messstellen («Profiltrassen») an. Ohnehin betraf der interessanteste Teil von Barschs Publikation deren Methodik. Dazu zählten insbesondere die Methoden, die nicht funktioniert hatten: Barsch beschrieb verschiedene Ansätze zur Bestimmung der Auftautiefe. Der vielleicht naheliegendste Weg war eine Ausgrabung: «Am meisten Informationen über den tieferen Untergrund liefert zweifellos das Aufgraben. Der großen Blöcke wegen und in Bezug auf den Arbeitsaufwand läßt sich diese Methode jedoch nur an wenigen ausgesuchten Punkten durchführen.»³⁶ Die genaueste Methode schied aus, weil damit kaum flächendeckende Messungen durchgeführt werden konnten. Der vermeintlich unmittelbare Blick ins Erdreich war nicht praktikabel. Barschs Arbeitsgruppe blieb stattdessen an der Erdoberfläche, wo sie mit nicht-invasiven geophysikalischen Methoden vorging.

Um von der Oberfläche aus Information über das Erdinnere zu gewinnen, werden bei geophysikalischen Sondierungen Wellen oder elektrische Signale in den Boden geschickt. Bei *seismischen* Sondierungen werden künstliche Erschütterungswellen erzeugt, z.B. durch Sprengstoff, durch ein schweres Gewicht oder einen Hammer. Die Idee dahinter ist die folgende: Erschütterungswellen breiten sich in Gesteinsschichten, je nach Material, unterschiedlich schnell aus. Wenn die Wellen nun die Grenze zwischen Schichten mit unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten passieren (z.B. die Grenze zwischen Eis und aufgetautem Schutt), wird ein Teil der Welle gebrochen. In der *Refraktionsseismik* werden gerade solche gebrochenen, sprich «refraktierten» Wellen untersucht. Dafür zeichnen Sonden (sogenannte Geophone) entlang eines Profils an der Erdoberfläche die Ankunftszeiten der Refraktionswellen auf. Auch Dietrich Barsch arbeitete auf verschiedenen Blockgletschern im Engadin mit refraktionsseismischen Verfahren. Seine Daten überführte er in mehrere Tabellen und Plots. Dort separierte er, formatiert durch unterschiedliche Spalten oder abgeknickte Graphen, zwei unterschiedliche Wellen: eine langsame, direkte Welle, die sich durch die Auftauschicht ausbreitete; und eine schnelle Refraktionswelle, die an der Grenze zur gefrorenen Permafrostschicht gebrochen worden war. Zwei Wellen, zwei Schichten: Mithilfe der Refraktionsseismik zogen die Forscher im Inneren des Blockgletschers eine provisorische Linie. Die Ausdehnung der Schichten leiteten sie aus der Verzögerung zwischen den zwei Wellen ab.

Diese Fachterminologie mag einen anderen Eindruck erwecken, aber den Blick ins Erdinnere generierte keine hochtechnisierte und autonome Forschungsanlage, zumindest

³⁶ Barsch 1973, S. 145.

nicht in der Wahrnehmung von Dietrich Barsch. Bestehende Verfahren mussten für die Anwendung im Hochgebirge zunächst adaptiert und dann sinnvoll eingeschränkt werden. Das machte sich auf drei Ebenen bemerkbar: Erstens war Barsch bei der Wahl des Verfahrens Kompromisse eingegangen. Nicht nur war die aufschlussreichste Methode – die Ausgrabung – aus Ressourcengründen ausgeschlossen. Barsch wählte auch eine spezifische Art, um eine Erschütterungswelle auszulösen. Seine Forschungsgruppe bearbeitete die Blockgletscher nicht mit einer Bohrmaschine, nicht mit einem Rammbock und nicht mit Sprengstoff. Sie zog mit einem grossen Vorschlaghammer und einigen Messsonden über die Blockgletscher. Die «Hammerschlagseismik» war, verglichen mit anderen Methoden, eher *low-* als *high-tech*. Aber gerade, weil die Geräte so transportabel waren, konnten die Wissenschaftler immerhin 50 Profile aufzeichnen. Einsicht in opake Räume entsteht nicht nur durch instrumentelle Genauigkeit, sondern vor allem durch eine möglichst hohe Datendichte.³⁷ Für die junge Permafrostforschung in den Alpen trifft das ganz besonders zu: Dietrich Barsch konnte Permafrost- und Auftauschicht erst sinnvoll voneinander isolieren, nachdem er eine akzeptable Zahl an Messungen durchgeführt hatte. Um diese Messungen zu interpretieren, waren die Forscher zweitens auf Vergleichsfolien angewiesen, denn Erfahrungswerte besaßen sie kaum welche. Die Referenzen stammten aus der glaziologischen Literatur, aber auch aus Datensätzen, die mit den aufwendigeren Methoden produziert worden waren.³⁸ Die Hammerschlagseismik legitimierte sich über den Vergleich sowie über die Abhängigkeit von anderen Verfahren. Und drittens wiesen die interpretierten Daten immer noch eine Unsicherheit auf, die Barsch grafisch auffing. Die grosszügigen Wertemargen in der obenstehenden Karte destillierten aus fehlerbehafteten Messungen halbwegs belastbare Zahlen.

Auch wenn sie nicht immer explizit gemacht werden – Entdeckungserzählungen finden momentan über die Umwelt- den Weg in die Wissenschaftsgeschichte. Dort kann man viel über die Genese eines gesamtplanetarischen Umweltwissens lernen, was nicht zuletzt hilft, die gegenwärtige Anthropozändebatte zu historisieren. Ein häufiges Merkmal solcher Geschichten liegt allerdings darin, dass ihre Akteure (Individuen und Netzwerke) meistens schon wussten, was sie taten, und dass sich ihre Handlungsabsichten auch mit den Handlungsergebnissen deckten.³⁹ Was heisst das in diesem Kontext? Im Sinn der *environmental humanities* könnte man sagen: Dietrich Barsch deutete den Blockgletscher als ein Medium für Erschütterungswellen. Man sollte dann allerdings beachten, dass der Geograf diese

³⁷ Sabine Höhler hat so für die historische Vermessung der Ozeantiefe argumentiert. Vgl. Höhler 2002, S. 21.

³⁸ Barsch 1973, S. 146–147.

³⁹ Von einer «discovery of the third dimension» in der polaren Eiskernforschung spricht Dania Achermann. Achermann 2020. Vgl. auch Isberg 2022a. Für einen medientheoretischen Zugang zur Geschichte der Tiefseebohrung und planetarischer Zeitskalierung, siehe Isberg 2022b.

Medialisierung nicht erwartete und dementsprechend auch nicht streng darauf hinarbeitete. Die Arbeitsgruppe der Universität Basel hatte andere Probleme. Sie erlebte auf dem Murtél 1 keine «Entdeckung» und auch nicht die Emergenz eines neuartigen Umweltbewusstseins, sondern arbeitete erwartungsoffen. Dessen Lesbarkeit war selbst nach getaner Arbeit partiell und wirkte voraussetzungsreich: Die *Isolation* von Permafrost und Auftauschicht beruhte auf begrenzten Ressourcen, pragmatischen Entscheidungen und auf der Aufbereitung der Daten in Tabellen, Plots und Karten. Permafrostforschung war in dieser Phase in erster Linie *Methodenarbeit*: einerseits, weil jedes Instrument mit finanziellen Kosten kam, physische Arbeit verlangte und somit in bestimmten Kontexten mehr oder weniger anwendbar war; und andererseits, weil sich im Zusammenspiel unterschiedlicher Instrumente unterschiedliche Perspektiven einnehmen liessen.⁴⁰

Was diese Methodenarbeit historisch auszeichnete, kann man sich durch einen Vergleich verdeutlichen: Von 1874 bis 1915 vermessen die *Schweizer Naturforschende Gesellschaft* und der *Schweizerische Alpenclub* den Rhonegletscher am Furkapass. Nachdem die Forscher in vierzigjähriger, minutiöser Arbeit die Längenschwankungen und das Fließverhalten des Gletschers topografisch erfasst hatten, veröffentlichte Paul-Louis Mercanton im Jahr 1916 eine knapp 200-seitige Zusammenfassung mit Karten und Tabellen. Aus dem Buch wurde ein glaziologisches Standardwerk, das in erster Linie durch die langjährige, präzise und naturgetreue Darstellung von Gletscherschwankungen bestach.⁴¹ Als ca. 50 Jahre später die geophysikalische Arbeit am Forschungsobjekt «Permafrost» begann, entstanden andere epistemische Praktiken: Die wichtigste Frage an ein Verfahren war nicht, wie präzise es war, sondern ob es überhaupt brauchbare Darstellungsangebote machte. Deshalb waren die Forscher weniger mit der Genauigkeit als mit der Praxistauglichkeit ihrer Methoden beschäftigt. Ein bewährtes Verfahren stand in einem anderen Kontext sofort wieder zur Disposition. Hatten Barsch und seine Studenten (so wie sie es schilderten) von Anfang an die Auftauschicht vermessen wollen und systematisch nach dem dafür am besten geeigneten Verfahren gesucht? Oder hatten sie im Engadiner Hochgebirge schlichtweg alle möglichen Instrumente ausprobiert, woraufhin eine iterierbare Methode ihr Interesse auf eine bestimmte Eigenschaft des Erdbodens gelenkt hatte? Eine zuverlässige Antwort lässt sich darauf rückblickend nicht geben. Ausser Frage steht aber, dass sich in anderen Kontexten andere Verfahren aufdrängten.

⁴⁰ Diese Beschreibung nimmt Anlehnung an Karen Barads Begriff des «material-discursive apparatus». Barad entwickelt damit ein realistisches Verständnis von Diskurs und Materie, nach dem Begriffe stets in apparativen Konfigurationen materialisiert sind: «concepts are materially embodied in the apparatus.» Siehe Barad 2007, S. 143.

⁴¹ Mercanton 1916. Zum historischen Kontext vgl. Hupfer 2019, S. 176–182.

Verbreitungsmuster

Zu den ersten umfangreichen wissenschaftlichen Arbeiten zum Permafrost in den Alpen zählt die Dissertation von Wilfried Haeberli, betreut von Dietrich Barsch und veröffentlicht im Jahr 1975. Haeberli interessierte sich nicht für das Innenleben von Blockgletschern. Stattdessen wollte er die Verbreitung von Permafrost in einem Gebiet am Flüelapass (Graubünden) untersuchen, und damit der allgemeineren Frage nachgehen, an welchen Hängen und in welchen Höhenlagen Permafrost überhaupt vorkommt. Die Permafrostverbreitung folgt im Hochgebirge weder einem zufälligen noch einem offensichtlichen Muster. Permafrostbedingungen können in jeder Art von Untergrund vorliegen: in Erde, Locker- oder Festgestein.

Auch Wilfried Haeberlis Studie hatte einen starken methodologischen Fokus. «Da die in den polwärtigen Permafrostgebieten oft und mit Erfolg angewandten Methoden [...] aus zeitlichen, technischen wie finanziellen Gründen nicht oder nur in beschränktem Ausmass eingesetzt werden konnten,» so Haeberli, war das erste Ziel seiner Arbeit das Ausmachen anwendbarer Verfahren.⁴² Wo mit Permafrost zu rechnen war und wo nicht, musste einer physikalischen Logik folgen und ein rekonstruierbares Muster bilden. Dieses «Verbreitungsmuster» wollte Haeberli abschätzen. Die ihm verfügbaren Instrumente wirkten allerdings etwas behelfsmässig, zumindest im Vergleich mit der Permafrostforschung um den Polarkreis. Für eine hohe Datendichte waren die Faktoren Zeit und Geld entscheidend. So verzichtete Haeberli, wie vor ihm Dietrich Barsch, auf systematische Ausgrabungen und Bohrungen. Stattdessen verfolgte er Ansätze, die er als «halbdirekte» oder «indirekte» Methoden bezeichnete.⁴³

Haeberlis verschiedene Methoden ermöglichten (und bedingten) einige ökologisch-physikalische Überlegungen: Ob der Untergrund das ganze Jahr über gefroren bleibt, hängt nicht nur von der Lufttemperatur ab – vor allem nicht im Gebirge. Haeberli identifizierte zahlreiche Umweltfaktoren, die sich auf die Bodentemperaturen auswirkten: die Hangneigung und -exposition, den Niederschlag, die Vegetation. Diese Faktoren wollte Haeberli möglichst adäquat berücksichtigen. Um die Permafrostzone geografisch von ihrer Umgebung zu *isolieren*, versuchte Haeberli zunächst, möglichst *integrale* Informationen über dieses Gebiet zu sammeln. Das wirkte sich auf seine Methoden aus: Haeberli arbeitete mit unterschiedlichsten Temperaturmessungen, sammelte visuelle Informationen und geophysikalische Daten. Zu seinem Methodenarsenal zählte zum Beispiel ein speziell für seine Studie entwickeltes Verfahren: Haeberli mass an vielen Stellen die Temperatur

⁴² Haeberli 1975, S. 9.

⁴³ Haeberli 1975, S. 47–48.

nicht unter der Erde, sondern mit einer einfachen Sonde am Boden der Schneedecke, schnell und kostengünstig. Wie Haeberli bemerkt hatte, blieb diese «Basistemperatur der winterlichen Schneedecke» (BTS) an einem gegebenen Ort mehr oder weniger konstant. Die BTS hing weniger von der Luft- als von der Bodentemperatur ab, weil die Schneedecke den Boden so effektiv isolierte. Sie bot eine einfache Möglichkeit, die Permafrostverbreitung mit einer Sonde und einem Thermometer (und womöglich auf Skiern) abzuschätzen.⁴⁴ Haeberli testete aber noch zahlreiche weitere Ansätze: Er kartierte Blockgletscherzungen anhand von Luftbildern und Ortsbegehungen; er fand Erosionsanrisse, die einen Blick auf die Permafrostschicht ermöglichten; er mass unterirdische Temperaturverläufe, einmalig und wiederholt; hinzu kamen Rammsondierungen, geoseismische Sondierungen mit Hammern und Sprengstoff, sowie geoelektrische Sondierungen, bei denen anstatt einer Erschütterungswelle ein elektrisches Signal in den Boden geschickt und an der Oberfläche aufgezeichnet wurde.⁴⁵

Schon Dietrich Barsch hatte bei der Bestimmung der Auftautiefe diverse Instrumente getestet, bevor er die Refraktionsseismik als besonders praktikabel auswies. Haeberli radikalisierte diesen Ansatz, denn im Gegensatz zu seinem Doktorvater arbeitete er ohne eine primäre Methode. Dafür gab er zwei Gründe an: Erstens existierte keine etablierte Art, die Permafrostverbreitung im Hochgebirge abzuschätzen; und zweitens kam jedes Instrument, egal ob Rammbock, Spreng- oder Hammersondierung, BTS-Messung, Luftfotografie, Temperaturgradient oder Geoelektrik, mit eigenen Problemen: Für die BTS-Messungen gab es nur wenige Referenzwerte, und sie konnten grundsätzlich nur dort vorgenommen werden, wo eine ausreichend dicke Winterschneedecke vorlag – also nicht in steilen Felswänden oder auf einem windexponierten Grat; per Refraktionsseismik liess sich trockener Permafrost nicht von trockenem ungefrorenem Material unterscheiden; und so weiter. Haeberli berücksichtigte fast alle verfügbaren Instrumente und Daten. Dieser Methodenpluralismus kam mit entscheidenden Vorteilen: Unterschiedliche Messungen konnten unterschiedliche Strukturen abbilden, waren in unterschiedlichen Landschaftsbereichen mit unterschiedlichem Aufwand einsetzbar, sie liessen sich mal im Sommer und mal im Winter durchführen, manche regelmässig und manche einmalig. Erst die Nivellierung der Instrumente ermöglichte sowohl eine akzeptable Datendichte als auch das Erfassen von Permafrost in den unterschiedlichen Bereichen des Testgebiets. Wilfried Haeberli stellte keine wissenschaftlichen Grundsätze auf, sondern pragmatische Überlegungen, und er handelte nicht aus Überzeugung, sondern notgedrungen. «Selbst eine

⁴⁴ Dafür blickte Haeberli in Messreihen des *Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung* (SLF). Haeberli 1975, S. 106–107. Vgl. auch Haeberli 1973.

⁴⁵ Vgl. Tabelle in Haeberli 1975, S. 43.

'Gesetz-und Ordnungs'-Wissenschaft wird nur dann Erfolg haben, wenn gelegentlich anarchistische Schritte zugelassen werden.»⁴⁶

Das hiess, dass die Messwerte von völlig unterschiedlichen Geräten produziert wurden, in unterschiedlichen Einheiten, mit unterschiedlicher Genauigkeit, unter der Berücksichtigung unterschiedlicher Umweltfaktoren. Nur wie zeichnet sich in diesem heterogenen Datengemenge so etwas wie ein Verbreitungsmuster ab? Haeberli visualisierte seinen Datenbestand in verschiedenen Plots. Eine dieser Abbildungen ist hier mitsamt ihrer Legende zu sehen (Abb. 3). Bis sich in dieser Grafik eine Übersicht einstellt, dauert es einen Moment. In der Legende tauchen so viele unterschiedliche Symbole auf, dass man schnell den Überblick darüber verliert, welche Markierung mit welcher Methode korrespondiert. Tatsächlich gibt es in diesem Datenbestand keine Hierarchien: Haeberli integrierte in dem Plot verschiedenste Messungen und Beobachtungen. Um gleichzeitig eine sinnstiftende Grafik zu erhalten, waren zwei Darstellungsschritte entscheidend: Zunächst sortierte Haeberli die Datenpunkte: In Hanglagen macht die Hangexposition einen wichtigen Faktor aus (denn an Südhängen ist mit einer höheren Sonneneinstrahlung als an Nordhängen zu rechnen). Die Lufttemperatur sinkt wiederum bei steigender Höhe. Aufgrund solcher Überlegungen bildete Haeberli die Permafrostverbreitung als Funktion von *Exposition* und *Höhe* ab, und zwar jeweils für Hänge, Hangfusslagen und Verflachungen in Tal- und Gipfellagen. Die obenstehende Grafik bezieht sich auf die Permafrostverbreitung an Hängen. Darin ist jede Einzelmessung als «Informationsstelle» verschlüsselt, ihr Standort wird als Verhältnis von Höhe und Hangexposition ausgedrückt. Zusätzlich ist kodiert, ob an der an jeweiligen Stelle Permafrost «wahrscheinlich», «möglich» oder «unwahrscheinlich» ist. Numerische Messwerte werden also nicht mit definitiven, sondern mit probabilistischen Aussagen identifiziert. Im zweiten Schritt konnte Haeberli in diesem Diagramm mit seinen Daten interagieren. Waren die Messungen ins Medium des Koordinatensystems überführt, konnte man auf dieser Fläche Linien ziehen – das hiess, per Hand (oder per mathematischem Kalkül) zwischen den Datenpunkten interpolieren. Die Interpolation teilte die Fläche in drei farblich hervorgehobene Bereiche ein: das *Verbreitungsmuster*. Damit lassen sich Aussagen der folgenden Form treffen: «In Hängen in Südrichtung ist Permafrost erst ab eine Höhe von 3000 Metern 'möglich'» oder «in nordexponierten Hängen ist Permafrost unterhalb von 2400 Metern 'unwahrscheinlich'». Das Diagramm abstrahiert also von den einzelnen Datenpunkten und gibt Auskunft, wo in Hanglagen Permafrost wahrscheinlich, möglich oder selten ist. Die Permafrostverbreitung zeigte sich als Operation im

⁴⁶ Feyerabend 1986, S. 31. Paul Feyerabends *Against Method* erschien 1976, ein Jahr nach Wilfried Haeberlis Dissertation. Vielleicht hätte Feyerabend an der Permafrostforschung in den Alpen seine Freude gehabt.

Koordinatensystem, als Strich und Schraffierung. Solche Diagramme dienten nicht bloss der Illustration – in manchen Fällen machten sie die aufgezeichneten Daten erst handhabbar.⁴⁷

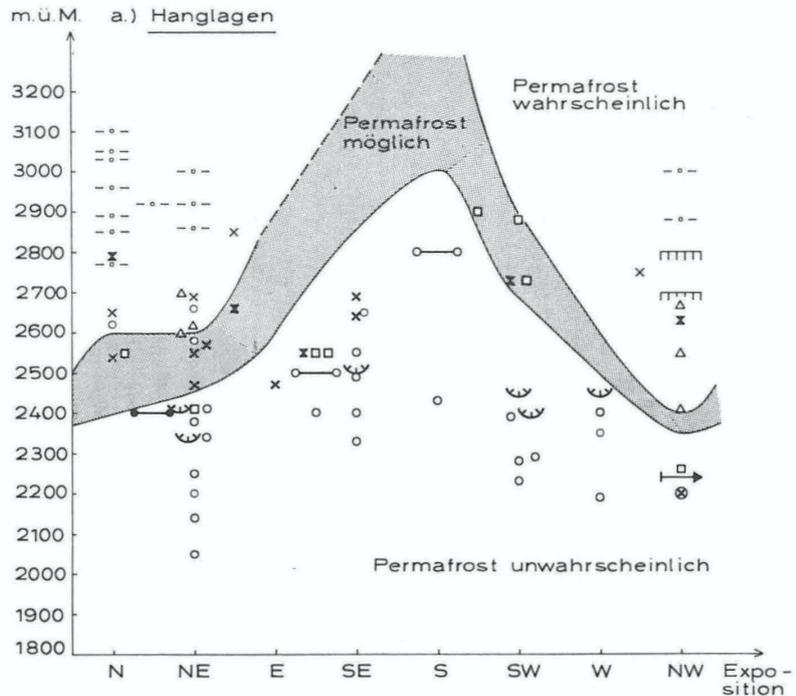
Im Verbreitungsmuster war Permafrost keine auffällige geologische Formation wie eine vereiste Felsspalte oder ein Geröllstrom. Mit dem Verbreitungsmuster erschien Permafrost als regionale Bedingung überall im Hochgebirge, unabhängig von der stofflichen Beschaffenheit des Bodens. Diese Zone war insofern von ihrer Umgebung isoliert, als dass sie immerhin probabilistische Konturen besass. Was waren die Grundlagen dieses Auftauchens? Mit seinem gesamten Messapparat war Wilfried Haeblerli flexibel umgegangen – in einer ausdauernden Auseinandersetzung mit der Frage, wo zu welchem Zeitpunkt welche Messungen Evidenz schaffen könnten. Verschiedene Umweltfaktoren zu berücksichtigen, hiess in der Praxis einen heterogenen Datensatz zu integrieren. Erst dann tauchten mehr oder weniger prägnante Linien um das Objekt Permafrost auf.

Mithilfe von Haeblerlis Diagrammen kann man viel über die apparativen und medialen Strategien der jungen Permafrostforschung im Gebirge lernen. Allein anhand der Dissertation wird die kollektive, diskursive Verhandlung von Permafrostproblemen allerdings noch nicht ersichtlich. Die folgenden Abschnitte erzählen davon, wie Diagramme neue Handlungsräume eröffneten.

⁴⁷ Mit der Philosophin Sybille Krämer gesprochen ist Haeblerlis Grafik ein anschauliches Beispiel für *operative Bildlichkeit*, also für ein Bild, das eine Operationalisierung von Informationen in einem zweidimensionalen Raum leistet. «Im Spannungsfeld der Hand, die etwas tut und des Auges, das etwas sieht, können wir so weit gehen zu sagen: der Strich bildet das Elementarmedium operativer Bildlichkeit; in ihm auch vereinigen sich das Tun und Operieren mit dem Beobachten.» Krämer 2009, S. 100.

Topoklimatische Bedingungen für das Auftreten von Permafrost

vgl. Text



Legende (zu Fig. 16)

Informationsstellen

Permafrost

wahrscheinlich möglich unwahrscheinlich

△			in(Aufschlüssen) beobachtetes Eis
x	⊗	x	Temperaturgradienten (S)
⊗		⊗	wiederholte Temperaturmessungen (DS)
⊗	⊗	⊗	Rammsondierungen (RS)
○—○	●—●	○—○	Refraktionsseismik, Hammer (HS)
		→	Geoelektrik (GE)
○	●	○	Quellwassertemperaturen (W)
□	■	□	Schneebasis - Temperaturen (BTS)
mm			Einzugsgebiete aktiver Blockgletscher
		⌋	Zungen fossiler Blockgletscher
--			Bergschründe

Abb. 3: Topoklimatische Bedingungen für das Auftreten von Permafrost in Hanglagen; mit Legende (Montage J. S.) (Quelle: Haerberli 1975, S. 122-124).

Technik und Temperaturen

Mit ihrer Methodenarbeit positionierte sich die Gebirgspermafrostforschung an der Schnittstelle verschiedener Geowissenschaften, zwischen Glaziologie, Geologie, Geomorphologie und Geophysik. Die Forschungsaktivitäten liessen aber nicht nur interdisziplinäre Querverbindungen spriessen. Gerade, weil sich die Wissenschaftler nicht in einer klar befestigten Disziplin bewegten, legitimierte sich ihre Forschung durch ihre industrielle Relevanz. Die Grenze zwischen Akademie und Industrie verlief fliessend. In seinem Vorwort für die Dissertation von Wilfried Haerberli lobte Peter Kasser, Leiter der *Abteilung für Hydrologie und Glaziologie* an der ETH Zürich:

Er [der Permafrost, Anm. J.S.] stellt den Ingenieur beim Bau von Stollen und Kavernen, bei der Foundation von Gebäuden, Verbauungen und Seilbahnmasten vor ganz besondere Probleme. [...] Trotz der technischen Bedeutung ist die Verbreitung des Permafrostes in den Alpen noch wenig bekannt. [...] Ingenieure und Naturwissenschaftler werden von dem methodischen Erfahrungsschatz in Hinblick auf alpine Besonderheiten profitieren können.⁴⁸

Tatsächlich mündete Haerberlis Grundlagenforschung in ein praxisnahes Angebot für Anwender: Sein Verbreitungsmuster (als Funktion von Höhe und Exposition) fasste Haerberli als Tabelle zusammen. Damit liess sich an einem Hang sofort das Vorliegen von Permafrost beurteilen. Man sprach schliesslich von den «Faustregeln», mit denen Ingenieur*innen bis heute überall in den Alpen arbeiten.⁴⁹

So wie am Anfang dieser Geschichte auf dem Schilthorn tauchte Permafrost in den Alpen zunächst als technisches Problem auf. Auch in anderen Geografien hat sich die Erforschung von Permafrost in der Umgebung grosser Bauprojekte angesiedelt, in den Polargebieten schon ein knappes Jahrhundert früher als in den Alpen. Im zaristischen Russland und der UdSSR war es Ende des 19. und anfangs des 20. Jahrhunderts der Bau großer Verkehrsverbindungen wie der Transsibirischen Eisenbahn und der Amur-Yakutsk-Autobahn, der die Begriffsbildung und die Erforschung von Bodenfrost vorantrieb.⁵⁰ In der nordamerikanischen Arktis florierte das Wissen über Permafrost nach dem Zweiten Weltkrieg beim Bau von Militäranlagen und bei der Ressourcenförderung.⁵¹ In den Alpen vollzog sich die Auseinandersetzung mit Permafrost im Umfeld des expandierenden Skitourismus. Verkehrsnetze, Pipelines, aber auch hochalpine Seilbahnen und verspiegelte Drehrestaurants können zum Gegenstand von sozialer Identitätsbildung werden – und von

⁴⁸ Haerberli 1975, S. 3.

⁴⁹ Siehe z.B. Stoffel 1995.

⁵⁰ Chu 2020.

⁵¹ Vgl. Chu 2020, S. 127–137. Während die Erforschung des Permafrostes in den Alpen in den 1970er Jahren Fahrt aufnahm, beschäftigten sich Nordamerikanische Wissenschaftler*innen und Ingenieur*innen besonders mit der im Jahr 1977 fertiggestellten Trans-Alaska-Pipeline. Die auf beinahe der Hälfte ihrer Strecke über der Erde geführte Pipeline produzierte eine Fülle von Wissen über technische Isolationsprobleme, aber auch über permafrostbasierte Ökosysteme. Vgl. Coates 1991, S. 177–200.

politischen Kontroversen.⁵² In den Nachkriegsjahrzehnten verhandelte die Schweizer Gesellschaft in ihren Permafrostzonen die Wachstumspotenziale und Folgekosten des sogenannten Massentourismus. Aufgrund der steigenden Realeinkommen bei Arbeitnehmer*innen, der Ausweitung der Urlaubszeiten und der Mobilisierung durch Automobil und Flugzeug drängte der touristische Freizeitkonsum bis weit in den verbreiterten Mittelstand.⁵³ In den Alpen bedeutete diese Entwicklung einen rasanten Ausbau der touristischen Verkehrsmittel.⁵⁴ Neue Bahnprojekte machten besonders dann von sich reden, wenn sie sich in eine neue Grössen- und Höhenordnungen vortrauten.

Anfangs der 1970er Jahre geschah dies in den Walliser Alpen: Im Dezember 1970 vergab das Eidgenössische Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement die Konzession für ein Seilbahnprojekt am Kleinmatterhorn oberhalb von Zermatt. Bis dort mit dem Bau begonnen werden konnte, vergingen mehrere Jahre. Ein wesentlicher Grund für die Verzögerung war ein Rekurs der *Schweizerischen Stiftung für Landschaftsschutz und Landschaftspflege* (SL). Mit seinen 3882 Metern Höhe bewegte sich das Kleinmatterhorn verächtlich nahe an der Viertausendermarke – in den Augen der SL ein Sakrileg. Die Stiftung verschrieb sich der Rettung eines «letzte[n] Rest[s] naturhaft und unberührt gebliebener Umwelt». Hans Weiss, Leiter der SL, wählte eine poetische Sprache, um den Tabubruch zu unterstreichen: «Immer weiter frißt sich die touristische Erschließung in selbstzerstörerischer Weise in bisher stille Kammern des Hochgebirges und entwertet diese für alle diejenigen, welche bisher hier noch Ruhe und Entrücktheit vom technisch dominierten Alltag fanden.»⁵⁵ Weiss beschrieb ein antagonistisches Verhältnis von natürlicher Bergwelt und technisierter Massenkultur. Mit dieser fortschrittskritischen Grenzerzählung konnte die SL den Bau der höchsten Luftseilbahn Europas jedoch nicht verhindern. Der Zermatter Kurdirektor Conrad Cachin bezeichnete die Kritik der SL in einem Interview als «[t]endenziöse und irreführende Pressekampagne. [...] Tatsache ist, dass die fragliche Region schon seit über 20 Jahren von der italienischen und seit dem Jahr 1968 auch von Zermatt aus erschlossen ist. Wie sollte es Zermatt nicht erlaubt sein, seine Interessen auf Schweizerboden zu wahren?».⁵⁶ So betrachtet war die Seilbahn eine kantonale Massnahme im

⁵² Zur Rolle der Permafrostforschung in der sowjetischen Populärkultur, siehe Chu 2020, S. 112–119. Zur kulturellen Bedeutung der Trans-Alaska-Pipeline, siehe Wight 2023. Für eine historische Aufarbeitung der politischen Kontroverse um das Projekt, vgl. Coates 1991.

⁵³ Vgl. Heiss 2004, S. 54–56.

⁵⁴ Die Geschichte des Alpentourismus nach dem 2. Weltkrieg ist historisch erstaunlich wenig erforscht. Aus kulturhistorischer Sicht, vgl. Denning 2015, S. 131–152. Für einen umwelthistorischen Überblick, siehe etwa Mathieu 2016, S. 194–196.

⁵⁵ Weiss, «Rettet das Klein-Matterhorn und den Feekopf!», 17.03.1971, WV, S. 7.

⁵⁶ o. A., «Ein echtes Entwicklungsbedürfnis: die Bahn aufs Klein-Matterhorn», 27.02.1971, WB. Die Grenznähe des Kleinmatterhorns zu Italien führte zu regelrecht akrobatischen Argumentationsweisen. Bürgerpräsident Othmar Julien sagte im Schweizer Fernsehen, die «Zermatter» wollten «die Bahn selbst bauen» um zu vermeiden, «dass plötzlich ausländisches und fremdes Kapital unsere Bergwelt erschliesst und das Matterhorn oder das Breithorn zum Spekulationsobjekt macht.» Die Unterscheidung zwischen

nationalen Interesse, die eine gefährliche Spekulation mit dem symbolischen Gipfel gerade *verhinderte*. Der Bund erteilte die endgültige Konzession für das Projekt im Dezember 1973. Das Kleinmatterhorn hatte damit als Projektionsfläche für einen anti-modernen bürgerlichen Naturbegriff ausgedient. Stattdessen leuchtete es als Objekt dezidiert schweizerischer Kapitalinteressen auf.

Im August 1976 begannen die Bauarbeiten im Theodulgebiet oberhalb von Zermatt. An politischer Sprengkraft hatte das Projekt inzwischen eingebüsst. Nichtsdestotrotz blieb ein breites Interesse an den Geschehnissen auf dem Kleinmatterhorn erhalten. Immer wieder berichteten Zeitungen und Fernsehen von der besonderen Baustelle, die Schweizer Medien waren fasziniert von den Herausforderungen für Mensch und Maschine auf knapp 4000 Metern. Hervorgehoben wurde immer wieder die hohe Belastung durch Kälte und Höhe: «Unter Verhältnissen, die für jeden Beteiligten neu sind, kämpfen sie sich durch gefrorenen Felsen, sprengen 3000 Kubikmeter Aushubmaterial für die Bergstation und bauen zwei grosse Tunnelschächte».⁵⁷ Die ca. 2000 Kubikmeter Beton, die allein für den Bau der Bergstation gebraucht wurden, wurden mit warmem Wasser und zwei Prozent Frostschutz verdünnt, in doppelwandige Spezialbehälter abgefüllt und per Helikopter zur Baustelle geflogen.⁵⁸ Den Kampf mit der Natur verkörperten keine Alpinisten, sondern die Bauarbeiter, oft italienische Saisoniers: «[E]inige müssen sofort wieder hinunter, andere nach zwei Tagen, wieder andere werden erst nach Wochen von Kopfschmerzen befallen», wurde der leitende Ingenieur zitiert. Bei 11-Stunden-Arbeitstagen und einer 25 Franken hohen Höhenzulage war diese Personalfluktuaton nicht besonders überraschend.⁵⁹

Von der finalen Konzessionsvergabe bis zur Eröffnungsfeier vergingen sieben Jahre. Eine Grenzverschiebung, wie Hans Weiss und die SL sie antizipiert hatten, erforderte in der Praxis einiges an Aufwand. Im politischen Konflikt um das Kleinmatterhorn hatten kulturelle gegenüber ökologischen Sorgen überwogen. Eine Art von ökologischem Wissen war am Kleinmatterhorn aber trotzdem gefragt: Um eine Seilbahn auf knapp 4000 Metern Höhe zu bauen, mussten die Ingenieure die «Natur» nämlich in ihre technischen und betrieblichen Überlegungen einbeziehen. Das betraf den gefrorenen Baugrund, aber auch die von der Kälte deformierten Baumaterialien und die frierenden, «nur zu 40 Prozent» leistungsfähigen Arbeitskräfte.⁶⁰ Dass dieses Umweltwissen gerade um ein technisches

ausländischem Kapital und ausländischen Arbeitskräften stellte für den Bürgerpräsident keinen Widerspruch dar. o. A. 1971, Abschn. 17:10-17:20.

⁵⁷ Tognoni, «Arbeit im ewigen Frost: Am Kleinen Matterhorn liegt Europas höchste Baustelle», 21.07.1978, TA.

⁵⁸ Stohler, «Die höchstgelegene Pendelseilbahn Europas: Auf 3820 Meter über Meer in den ewigen Schnee», 02.10.1979, EP, S. 2.

⁵⁹ Tognoni, «Arbeit im ewigen Frost: Am Kleinen Matterhorn liegt Europas höchste Baustelle», 21.07.1978, TA. Vgl. auch die Fernsehreportage o. A. 1980.

⁶⁰ Tognoni, «Arbeit im ewigen Frost: Am Kleinen Matterhorn liegt Europas höchste Baustelle», 21.07.1978, TA.

System herum florierte, ist aus historischer Sicht typisch.⁶¹ Besonders heikel war das Thema Permafrost: Um das Kleinmatterhorn als herausragende Tourismusdestination zu reimaginieren, mussten die Gemeinde Zermatt und der private Bauträger das Eigenleben des Bergs berücksichtigen. Die Fantasie einer stabilen wie profitablen Landschaft lebte nur, solange man ihre Beweglichkeit ausreichend antizipierte. Am Kleinmatterhorn verdrängte Technik nicht einfach Natur, wie Hans Weiss es prophezeit hatte. Auf der Baustelle veränderte sich sowohl das, was zur Natur zählte, als auch die gesellschaftlichen Strukturen, die sich mit ihr beschäftigten. Besonders ersichtlich wird das beim Umgang mit Wärme und Kälte. Das, was nicht einfrieren sollte, musste warmgehalten werden (also etwa der flüssige Beton oder die Körper der menschlichen Arbeitskräfte); und das, was nicht auftauen durfte, musste kalt bleiben (das im Fels eingeschlossene Eis). Der auf der Baustelle agierende Expertenverbund musste dafür einerseits wissen, wo mit heiklen Temperaturbedingungen zu rechnen war – und anschliessend entscheiden, ob man den betroffenen Ausschnitt ins technische System *integrierte* oder besser davon *isolierte*. Temperaturen sind grundsätzlich grenzüberschreitend. Die Grenze zwischen dem technischen System und seiner Umwelt war deshalb oft: ein technisch hochgerüsteter Temperaturgradient.

Wie diese Arbeit konkret aussah, werde ich im nächsten Abschnitt berichten. An dieser Stelle noch ein terminologischer Hinweis: Es ist Absicht, dass ich von *technischen Systemen* und nicht von *Infrastrukturen* spreche. Der Begriff der Infrastruktur bezeichnet häufig Technologien, die so hintergründig sind, dass sie fast vollständig aus dem Blick verschwinden.⁶² Um diesen Aspekt geht es mir hier nicht. Ich beobachte, wie Technik eine Beziehung zu ihrer Umwelt unterhält, wie meine Akteure diese Beziehung wahrnehmen und wie sie sich technisch und sozial ausdifferenziert.

Entscheidungen treffen

Im Umfeld des Kleinmatterhornprojekts begegneten sich Wissenschaftler, Techniker, Arbeiter und Projektmanager. In so einer professionsübergreifenden Arbeitsgemeinschaft ist Kommunikation kein Selbstläufer. Das gilt insbesondere dann, wenn nicht auf der Hand liegt, mit welchen Problemen man es eigentlich zu tun hat. Bevor der Presslufthammer angesetzt, Fundamente gegraben und Beton gegossen wurden, waren diese Akteure zuallererst auf eine einheitliche Wahrnehmung ihrer Umgebung angewiesen. Oft hiess das:

⁶¹ Dass sich Umweltwissen – und insbesondere die Umweltwissenschaften – historisch im Umfeld grosser Infrastrukturen entwickelt haben, hat der Wissenschaftshistoriker Nils Güttler am Beispiel des Frankfurter Flughafens untersucht. Siehe Güttler 2023.

⁶² Vgl. etwa Bowker und Star 1999, S. 34; Edwards 2004, S. 187–188.

Sie wollten sehen, was sich dem Auge entzog. Bei der Behandlung des Permafrostproblems wurde dafür unter anderem Wilfried Haerberli zu Rate gezogen.

Man muss die akademische Permafrostforschung nicht nur in Anwendungsszenarien, sondern auch in konkrete Arbeitsverhältnisse einordnen. Gerade auf den Baustellen versammelten sich Instrumente, technisch-wissenschaftliche Expertise, menschliche Arbeitskraft und finanzielle Ressourcen. Hauptverantwortlich für das Permafrostproblem am Kleinmatterhorn war die *Geotest AG*, eine 1962 gegründete Beratungsfirma, die vom Bauboom der 1960er Jahre profitiert hatte. Das Beratungsbüro versammelte geologische, geotechnische und geophysikalische Expertise und deckte schliesslich eine ganze Bandbreite von Geschäftsfeldern ab, vom Umwelt- und Gewässerschutz über die Gebäudeerhaltung und Energieversorgung bis zum Tiefbau und der Ressourcengewinnung.⁶³ In den 1970er Jahren entwickelte sich *Geotest* zur ersten Anlaufstelle für Schweizer Baufirmen beim Thema Permafrost. Für das Projekt am Kleinmatterhorn arbeitete das Büro mit Wilfried Haerberli zusammen, zu diesem Zeitpunkt Postdoktorand an der *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)* der ETH Zürich.⁶⁴ Solche Kooperationen waren nichts Neues, und eine saubere Trennung von Theorie und Anwendung in der alpinen Permafrostforschung fast unmöglich. Wissenschaftler wie Dietrich Barsch oder Wilfried Haerberli waren schon zuvor von privaten Büros und Maschinenfirmen unterstützt worden, etwa bei Sprengungen oder Kernbohrungen.⁶⁵ Bereits 1965 hatte *Geotest* eine seismische Sprengung an einem Blockgletscher für Dietrich Barsch durchgeführt.⁶⁶ Das technische Büro schuf so einen profitablen Tätigkeitsbereich zwischen Wissenschaft und Industrie. Die Zusammenarbeit von Hochschulen, Beratungs- und Baufirmen prägte aber auch akademische Karrieren. Auf Baustellen bot sich die seltene Gelegenheit, innovative und teure Verfahren wie etwa eine Kernbohrung durchzuführen. Die wissenschaftliche Bedeutung dieser Aktivitäten zeigte sich im Format, in dem die Akteure sie präsentierten. Das Projekt am Kleinmatterhorn gelangte bis in die internationale Permafrostcommunity, denn Haerberli und sein zeitweiliger Kollege Hans-Rudolf Keusen, Geologe bei *Geotest*, berichteten davon auf der grösstmöglichen Bühne: Die beiden Experten sprachen darüber 1983 auf der *International Conference on Permafrost 1983* in Fairbanks, Alaska.⁶⁷ Bei dieser fünfjährigen Tagung nahm die Gebirgspermafrostforschung zu diesem Zeitpunkt noch eine relativ marginale Rolle ein.

⁶³ Vgl. o. A., «Das Geotest-Team geht dem Baugrund auf den Grund», 08.09.1989, DB, S. 17.

⁶⁴ Zur Auftragsforschung der VAW vgl. Burri 2005.

⁶⁵ Abgesehen von *Geotest* lässt sich hier vor allem die *Stump Bohr AG* nennen, die die Maschinen für Bohrarbeiten bereitstellte.

⁶⁶ Vgl. Barsch 1969b, S. 11.

⁶⁷ Keusen und Haerberli 1983.

Bevor auf dem Theodulgebiet oberhalb von Zermatt mit der Fundierung der Seilbahn-
pfeiler und der Gipfelstation begonnen wurde, führten die Experten zahlreiche Vorsondie-
rungen durch: präzise Deformationsmessungen des Baugrunds, geoelektrische Sondie-
rungen, dazu drei Kernbohrungen und schliesslich Temperaturmessungen unterhalb der
Gipfelstation.⁶⁸ Diese Methoden hatten sich bei Forschungsprojekten bewährt, sie waren
teilweise schon bei anderen Bauprojekten in den Alpen zum Einsatz gekommen, manche
Routinen adaptierten die Experten aus der arktischen Forschung und Anwendung. Im Ide-
alfall liessen sich die Messergebnisse visualisieren. Auf Grundlage einer geoelektrischen
Sondierung entstand beispielsweise das Profil einer Moräne, die als Fundament für einen
der Seilbahnpfeiler dienen sollte (Abb. 4). Im Diagramm sind Bereiche mit unterschiedli-
chen elektrischen Widerständen verzeichnet, die mit geologischen Schichten korrespon-
dieren. So zeigte sich, dass unterhalb einer dünnen Auftauschicht fast 20 Meter gefrorenes
Material ruhten. Für einen Seilbahnpfeiler war diese Schuttmasse kein brauchbares Fun-
dament. Auf Empfehlung von Haeberli und *Geotest* beschloss die Baufirma, die Stütze an
eine andere Stelle zu versetzen.⁶⁹

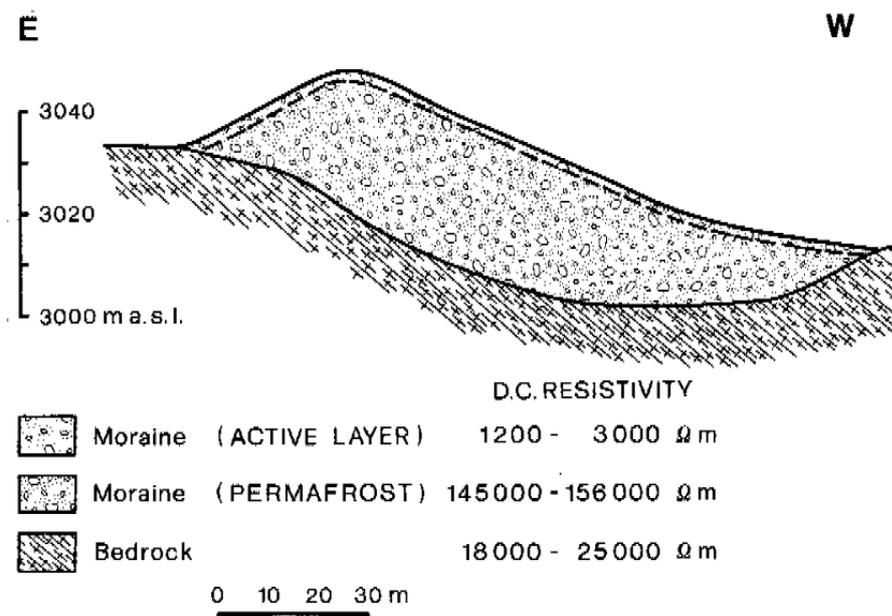


Abb. 4: Geoelektrisches Querprofil einer als Pfeilerfundament vorgesehenen Moräne am Kleinmatterhorn (Quelle: Keusen und Amiguet 1987, S. 429.)

Durch das Zusammenspiel von Literatur, Erfahrungswerten, Messdaten und diagramma-
tischer Darstellung konnten die Experten solche kritischen Zonen meiden oder besonders
behandeln. Visualisierungen wie das obenstehende Profil hatten dabei mehr als eine *ab-*

⁶⁸ Vgl. Keusen und Haeberli 1983; Rieder, Keusen und Amiguet 1980.

⁶⁹ Vgl. Keusen und Haeberli 1983, S. 602.

bildende Funktion.⁷⁰ Auf hochalpinen Baustellen mit einer ausgeprägten Arbeitsteilung dienten diese Diagramme als kommunikative Werkzeuge. Um eine Seilbahn auf knapp 4000 Metern Höhe zu bauen, mussten Entscheidungen getroffen und über professionelle Grenzen hinweg vermittelt werden – Entscheidungen mit potenziell desaströsen Folgen. Wo baute man eine Pylone und wo besser nicht? Man kann mutmassen, dass Diagramme – verglichen mit anderen Medien – in dieser Situation Vorteile besaßen: Gegenüber tabellierten Zahlenkolonnen hatten sie einen veranschaulichenden Effekt, gegenüber Expertenurteilen einen objektivierenden. Die «immutable mobiles»⁷¹ vermittelten zwischen Baustelle und Büro, zwischen Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Disziplinen, firmenexternen und -internen Ingenieuren und der Baufirma. Vor allem strukturierten Diagramme wie der Moränenquerschnitt, was deren kollektive Aufmerksamkeit ein- und was sie ausblendete. Der tiefe Moränenwall gehörte eindeutig zur kritischen Zone. Das umgebende Grundgestein wirkte hingegen unscheinbar – und vor allem stabil.

Die Verlegung der «Pylone 2» blieb nicht die letzte Massnahme. Generell musste die Temperaturstörung des Untergrunds so gering wie möglich bleiben. Dafür wurden an der Gipfelstation isolierende Leerräume eingebaut, um den Wärmefluss aus dem Gebäude in seine Umgebung zu reduzieren. Ein anderer Ansatz war, den Fels – so wie beim Bau der Schilthornbahn Mitte der 1960er Jahre – mit Drahtseilen zu befestigen, um auf diesem Weg die Stabilität zu erhöhen. Kritische Bereiche wurden also entweder ins technische System *integriert* und/oder ausreichend von diesem *isoliert*. Die Arbeit an der Grenze des technischen Systems war letztendlich eine Frage des Innen und Aussen. Davon zeugen zahlreiche Bauprojekte im Alpenraum. Ein besonders instruktives Beispiel bietet das *Top of Europe* auf dem Jungfrauoch: Das Berghaus auf knapp 3500 Metern Höhe wurde im Sommer 1987 eröffnet und fand in Fachkreisen grosse Aufmerksamkeit.⁷² Die schwierigen Temperaturbedingungen provozierten technische Raffinesse, zum Beispiel bei der Abwasserentsorgung: Damit der Urin der Besucher*innen und das Abwasser aus den Küchen und Unterkünften nicht in den Rohren gefriert, wird die Flüssigkeit im Berghaus gesammelt (das konserviert die Wärme) und nur *schwallweise* durch den Jungfrautunnel zur Kleinen Scheidegg geführt. Von dort gelangt das Abwasser zur Kläranlage in Grindelwald.

⁷⁰ Solche operativen Bilder «stellen nicht nur etwas dar, sondern eröffnen damit Räume, um das Dargestellte auch zu handhaben, zu beobachten, zu explorieren. Und dies gilt umso mehr, wenn dabei zur Anschauung gebracht wird, was anders gar nicht zu Gesicht kommen kann», sagt die Philosophin Sibylle Krämer. Krämer 2009, S. 104.

⁷¹ Von den bald ubiquitären «immutable mobiles» sprach Bruno Latour zunächst im Zusammenhang von Visualisierung und Kognition. Latour 1986.

⁷² Vgl. etwa die Doppel-Spezialausgabe der Zeitschrift *Schweizer Ingenieur und Architekt* Hirni 1987. Zum Permafrostproblem und der Tätigkeit der *Geotest*, siehe Keusen und Amiguet 1987.

Damit ist nicht nur das Abwasserrohr, sondern auch sein Inhalt Gegenstand technischer Überlegungen.⁷³

Unruhige Kurven und ein unterbestimmtes Forschungsobjekt

Nach ca. zwei Jahrzehnten Methodenarbeit und Bauberatung veränderten sich in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre der Stellenwert und die Problemlagen der alpinen Permafrostforschung. Das lag vor allem an einem neuen Forschungsprojekt unter der Leitung von Wilfried Haerberli: 1987 wurde auf einem Permafrostboden im Engadin eine Studie in Angriff genommen, die man wenig später mit dem Label «*Grossprojekt*» versah.⁷⁴ Es handelte sich um eine Kernbohrung am Piz Corvatsch, einem knapp 3500 hohen Berg im Oberengadin. Institutionell verantwortlich dafür war die *Versuchsanstalt für Wasserbau Hydrologie und Glaziologie* (VAW) der ETH Zürich. Am selben Ort, dem Blockgletscher Murtél 1 hatte schon Dietrich Barsch 1973 die Auftautiefe kartografisch erfasst (vgl. Abschnitt 2.1). Die Kernbohrung war nun mit einem Forschungskredit von 258.000 Franken über eine Laufzeit von zwei Jahren ausgestattet,⁷⁵ mit guter Aussicht auf Verlängerung. Bezeichnenderweise fand die Bohrung im Schatten einer Seilbahn statt, nach jahrelanger Zusammenarbeit von Permafrostforschern und Baubranche. Mit der Corvatschbahn konnten kleinere Materiallieferungen und vor allem das Personal schnell und unkompliziert die Anlage erreichen. Für den Betrieb des Freiluftlaboratoriums dürfte diese Verkehrsanbindung unerlässlich gewesen sein, in den Publikationen und Forschungsanträgen fand der Umstand hingegen höchstens am Rand Erwähnung.⁷⁶ Neben der Seilbahn vertraute die VAW auf bewährte private Partnerinnen: Die am Corvatsch zum Einsatz kommende Bohrmaschine stellte die *Stump Bohr AG*, Grossaktionärin bei *Geotest* und bereits verantwortlich für Sondierungsbohrungen am Kleinmatterhorn.⁷⁷

Trotz dieser Kontinuitäten stellte das Projekt am Piz Corvatsch ein Novum dar: angesichts der Forschungsgelder, des Personal- und des Maschinenaufwands, aber auch wegen des relativ offenen Zeithorizonts des Projekts. Damit verschob sich das Verhältnis von Forschung und Industrie: Nachdem die Wissenschaftler bislang die Anwendungsrelevanz

⁷³ Vgl. Versteeg 1987, S. 917.

⁷⁴ So ein kritischer Gutachter vor der ersten Verlängerung des Projekts – das Schlagwort diente hier nicht als Auszeichnung, sondern als Bewertungsmaßstab. o. A., «Handschriftliches Gutachten TH-1 / 88-4», 1988, ETHZ EZ-1.4/286, S. 2. Hervorh. im Original.

⁷⁵ Siehe Abrechnung in Beilage 3 in Haerberli und Huder, «Antrag TH-1 88-4 für die Durchführung eines ETHZ-internen Forschungsprojektes», 1988, ETHZ EZ-1.4/286.

⁷⁶ In der Abrechnung des ersten Forschungskredits tauchen die Tickets für die Corvatschbahn als Kostenpunkt auf. Siehe Abrechnung in Haerberli und Huder, «Antrag TH-1 88-4 für die Durchführung eines ETHZ-internen Forschungsprojektes», 1988, ETHZ EZ-1.4/286.

⁷⁷ Siehe Haerberli u. a. 1988, S. 942.

ihrer Forschung gesucht und betont hatten, rückte dieser Kontext am Corvatsch in den Hintergrund. Diese Emanzipation kam mit Problemen: Das Projekt am Piz Corvatsch war nicht nur teuer, sondern auch präzedenzlos. Es handelte sich zwar nicht um die erste Kernbohrung im Gebirgsperrmafrost, aber mit Abstand um die tiefste.⁷⁸ Neu waren also nicht nur die Gelder, sondern auch die Methoden. Zuvor waren Messungen nicht ausschliesslich, aber doch vorwiegend an der Erdoberfläche erfolgt, weil die «direkten Methoden» viele Jahre lang zu aufwendig, zu teuer gewesen waren (siehe Abschnitte 2.1 und 2.2.). Nun konnten die VAW-Forscher*innen das tun, was bisher meistens nicht möglich gewesen war: den Boden nicht von der Oberfläche aus sondieren, sondern sein Inneres freilegen, das im Erdreich verborgene ans Tageslicht holen und weit nach unten blicken.

Im Frühjahr 1987 versammelte die VAW einen Kompressor, Generator, Motor, Lufttanks, Bohrkronen und -gestänge, geophysikalische Instrumente, eine «Bohrmannschaft» und eine Handvoll Wissenschaftler*innen am Piz Corvatsch (um nur einen Ausschnitt von Material und Personal aufzuzählen).⁷⁹ Zwischen April und Juli wurden so zwei Bohrkerne aus dem Blockgletscher Murtél 1 entnommen. Das erste Loch mass 21,7 Meter, beim zweiten Anlauf drang die Bohrmaschine bis auf 62,5 Meter Tiefe ins Grundgestein vor. Was sahen die Wissenschaftler*innen dabei? Die Bohrkerne wurden noch in der Maschine automatisch in Plastikfolie verpackt, anschliessend an der Oberfläche zugeschnitten, verschlossen, und markiert. Die Forscher*innen begutachteten die Bohrkerne durch die Plastikfolie hindurch, teilten sie in verschiedene Sedimentklassen ein und wogen sie. Sie schätzten den Masseverlust und berechneten auf dieser Grundlage die Dichte der Erdschichten unter ihren Füessen. Anschliessend wurden die Proben in einer Kühlbox per Hubschrauber ins Tal gebracht, wo sie bei -30°C auf die Laboruntersuchung warteten.⁸⁰ Auch an den Bohrlöchern führten die Forscher*innen nach Abschluss der Bohrarbeiten erste Messarbeiten durch. Sie zeichneten den Durchmesser des Bohrlochs mit einem sogenannten Caliper Log auf und massen den Temperaturverlauf im Bohrloch. Die so gesammelten Daten fasste die Forschungsgruppe in einer Grafik zusammen, mit der eine Delegation der VAW im August 1988, also ungefähr ein Jahr nach Abschluss der Bohrarbeiten, zur fünfjährigen *International Conference on Permafrost* in Trondheim reiste. Das Diagramm zeigte dem Publikum – Forscher*innen etwa aus Nordamerika, der UdSSR, China oder Skandinavien – einen Arbeitsstand aus den Alpen (Abb. 5).

⁷⁸ Am gleichen Ort hatte Dietrich Barsch bereits ca. zehn Jahre zuvor eine Kernbohrung angeleitet; Wilfried Haerberli hatte mit *Geotest* ausserdem am Kleinmatterhorn Kernbohrungen durchgeführt. In beiden Fällen erreichten die Maschinen eine Tiefe von ca. 10 Metern. Vgl. Barsch 1977; Keusen und Haerberli 1983, S. 602.

⁷⁹ Einen Überblick über den Arbeitsaufwand bietet ein unveröffentlichter Film, den die *Stump Bohr AG* über die Bohrung am Corvatsch produzierte. Die Aufnahme habe ich von Daniel Vonder Mühl erhalten.

⁸⁰ Diese und folgende Informationen über den Ablauf der Forschungsarbeiten innerhalb des ersten Jahrs stammen aus Haerberli u. a. 1988.

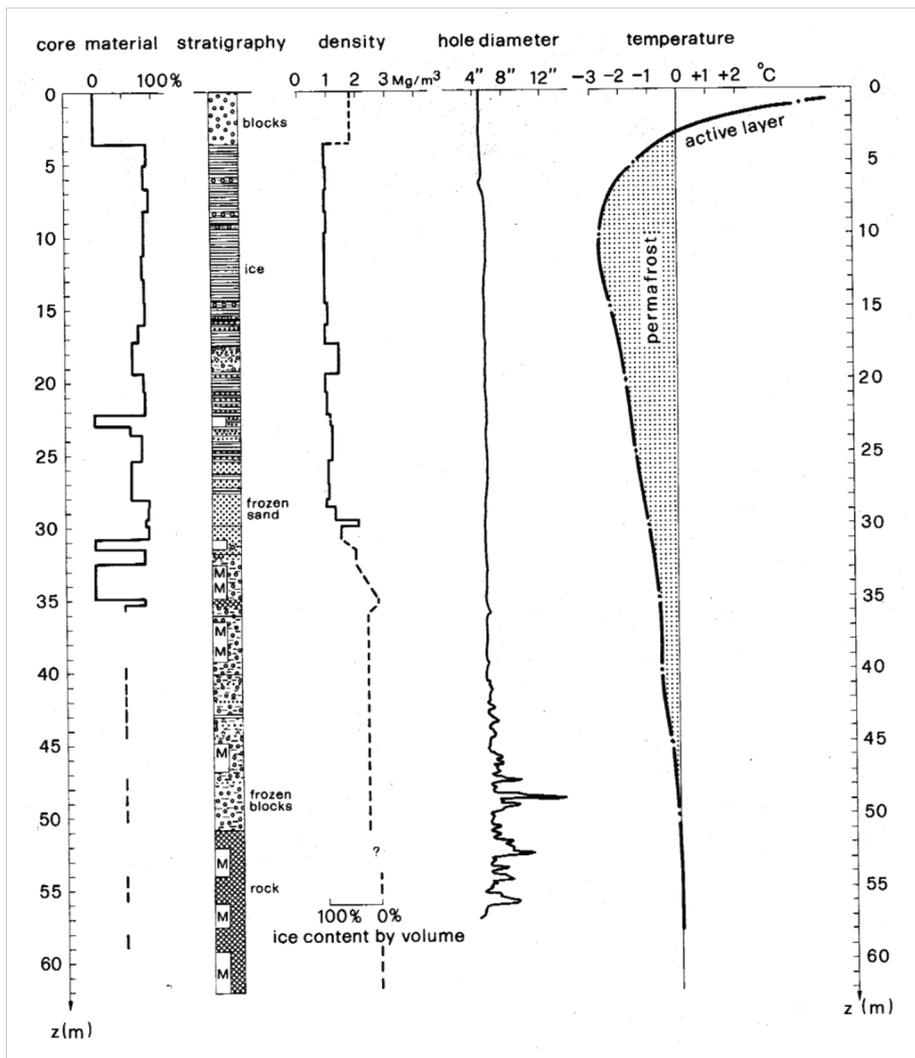


Abb. 5: Diagramm mit provisorischen Messungen; die gestrichelten Linien markieren Bereiche mit unsicheren Resultaten (Quelle: Haerberli u. a. 1988, S. 941).

Für die unterschiedlichen Messungen schafft diese Abbildung einen gemeinsamen Repräsentationsraum. Das gelingt durch eine uniform skalierte Vertikalachse. Von oben nach unten wandert das Auge das Bohrloch entlang in den Blockgletscher hinein. So können Information verfolgt und verglichen werden, die teilweise per Augenschein bestimmt, teilweise gemessen und teilweise berechnet worden sind. Dabei kommuniziert das Diagramm eine auffällige Vorläufigkeit: Seine Syntax verfügt gleich über mehrere Unsicherheitsregister – zitternde Linien, gestrichelte Linien, unterbrochene Linien, dazwischen ein kleines Fragezeichen. Zu einem grösseren Ganzen fügen sich das nicht zusammen. Der neue Darstellungsraum war mehr Versprechen als Evidenz: Besonders für den unteren Teil des Bohrlochs wirkte die Datenlage unsicher und lückenhaft, denn je tiefer der Bohrer in die Erde vorgedrungen war, desto mehr Sediment hatte er verloren. Die direkt nach der Bohrung erstellten Messungen sollten deshalb bald mit aufwendigeren Methoden ergänzt werden.

Wenn etwas im Erdboden verborgen liegt, ist der Griff zur Schaufel oder zum Bohrer der naheliegendste Instinkt. Eine Kernbohrung, gewissermassen eine hochentwickelte Ausgrabungstechnik, wirkt deshalb wie der direkteste Zugang zum Verborgenen. Am Murtél 1 war das Gegenteil der Fall. Die Kernbohrung schuf einen höchst indirekten Blick in den Blockgletscher, womit die unruhigen Linien im obigen Diagramm symptomatisch für den Arbeitsstand im Sommer 1988 standen. Für die Gebirgspermafrostforschung fiel die Kernbohrung am Corvatsch in eine besondere Phase: Sie konnte grosse Forschungsmittel binden, arbeitete aber gleichzeitig mit einem unterbestimmten «epistemischen Ding»⁸¹. In seinem institutionellen Umfeld mutierte das Projekt deshalb gelegentlich zum Aushandlungsgegenstand. Im September 1988 beantragte Wilfried Haebleris Arbeitsgruppe zum ersten Mal eine Verlängerung ihrer Mittel bei der Forschungskommission der ETH Zürich. Die hochschulinterne Betriebsaufsicht holte anschliessend mehrere Gutachten ein. Auf der einen Seite stiess sie auf Wohlwollen angesichts der Weitsicht des Projekts: «Es kommt relativ selten vor, dass man den Mut hat, solche grundlegenden Arbeiten, die auf weite Sicht angelegt sind, mit dieser Gründlichkeit, Sorgfalt und Kompetenz anzugehen.» Auf der anderen Seite bot der Antrag aber auch Anlass zu fragen, ob die Verantwortlichen eigentlich selbst genau wussten, was sie da ans Tageslicht geholt hatten: «[E]s erstaunt etwas, dass nach ca. 1,3a keine längerfristigen Überlegungen vorhanden sind. Das Geld ist anscheinend ausgegeben worden!», so die scharfe Kritik eines zweiten Gutachters.⁸² War die Vagheit dem Gegenstand oder nicht doch einer mangelhaften Koordination geschuldet? Ein Jahr nach Beginn der Forschungsarbeiten liess sich das jedenfalls in Frage stellen. Den ersten Verlängerungsantrag schickte die Forschungskommission in Revision, die Hochschule sollte erst eine überarbeitete Version bewilligen.⁸³ So ist es kaum überraschend, dass sich in den folgenden Monaten und Jahren nicht nur die Datenpräzision verbesserte. Bis sich der Forschungsgegenstand stabilisierte, galt es geduldig zu messen, an geeigneten Darstellungen zu tüfteln, passende Kontexte für die eigene Forschung auszuloten und sinnstiftende Erklärungsressourcen zu erschliessen. Letzteres versuchte die Arbeitsgruppe vor allem, indem sie ihre Anlage mit einem etablierten und zukunftssträchtigen Forschungskonzept verknüpfte: dem Klimaarchiv. Ein Hinweis, bevor ich diesen Anschlussversuch genauer untersuche: Diese Diskussion versucht keine unlautere Forschung, schlechte Arbeit oder ein manipulatives Kalkül aufzudecken. Es geht ihr nicht einmal um strategisches Denken. Die Rolle von Kommunikation und Diskurs will sie auf einer

⁸¹ Rheinberger 2006.

⁸² o. A., «Gutachten TH-1 / 88-4», Brief an Thomas von Waldkirch, 13.10.1988, ETHZ EZ-1.4/286; o. A., «Handschriftliches Gutachten TH-1 / 88-4», 1988, ETHZ EZ-1.4/286, S. 2. Hervorhebung im Original.

⁸³ Vgl. Hütter, «Forschungsprojekt <Wissenschaftliche Kernbohrung im Permafrost eines aktiven Blockgletschers>», Brief an Wilfried Haeblerli und J. Huder, 09.12.1988, ETHZ EZ-1.4/286.

grundlegenderen Ebene ins Bild holen: Wissenschaft ist stets auf sinnstiftende Assoziationen, erklärende Metaphern und entlehnte Konzepte angewiesen. Wenn sie sich mit einem irritierenden Gegenstand beschäftigt, wird das umso deutlicher.

Ein stabiles Archiv?

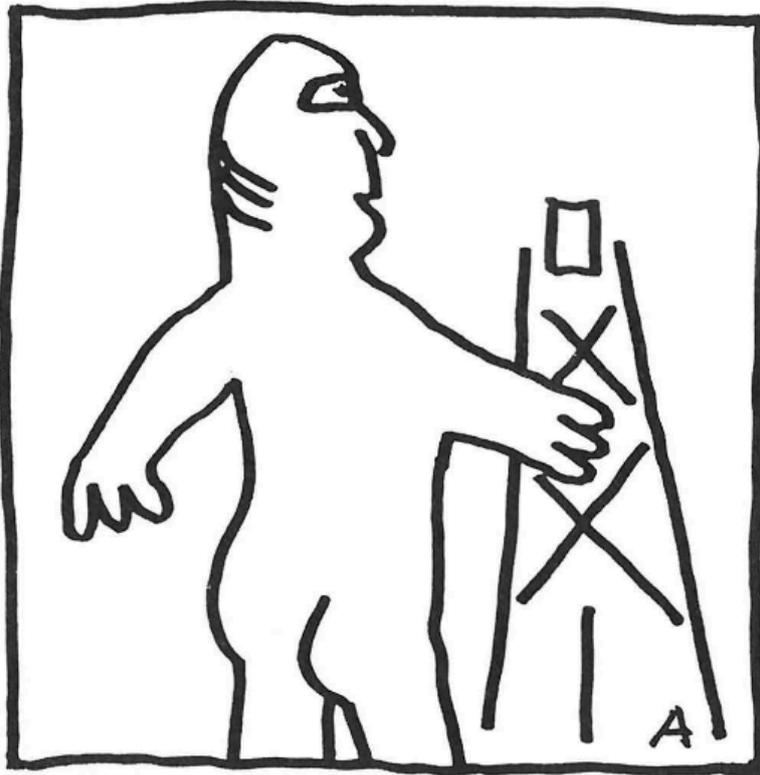
Haeberli's Arbeitsgruppe streckte mit der Kernbohrung ihre Fühler in ihr disziplinäres Umfeld aus. Wissenschaftlich motivierte Bohrungen hatten in den 1980er Jahren Konjunktur, die klimatologische Eiskernforschung genoss damals bereits grosse Aufmerksamkeit. 1966 hatten Wissenschaftler und Ingenieure im *Camp Century* auf Grönland Eisproben aus bis zu 1300 Meter Tiefe hervorgeholt. Aus Luftblasen und Isotopen, die im *Camp-Century*-Bohrkern eingeschlossen waren, rekonstruierten sie anschliessend Klimaentwicklungen der vergangenen 100.000 Jahre.⁸⁴ In den 1980er Jahren waren die «Klimaarchive» bereits in aller Munde (Abb. 6). Damit waren nicht nur die grossen Eisschilde an den Polkappen gemeint, sondern auch Baumringe sowie Sedimentkerne aus Seen und dem Ozeanboden – und seit Kürzerem auch aus Alpengletschern: Auf dem Colle Gnifetti, einem vergletscherten Firnsattel im Monte-Rosa-Massiv, war 1976 unter der Leitung der Berner Klimakoryphäe Hans Oeschger erstmals ein Eisbohrkern in den Alpen geborgen worden. An diesem Projekt hatte sich auch Wilfried Haeberli beteiligt.⁸⁵ Bei der Analyse von Eisbohrkernen arbeiteten Glaziolo*innen schon seit einigen Jahrzehnten mit Chemikern*innen und Physiker*innen zusammen.⁸⁶ Diese disziplinären Verschränkungen – vor allem zwischen Glaziologie und Geophysik – hatten die Gebirgspermafrostforschung seit ihrer Anfangszeit geprägt. Für Haeberli war es deshalb vergleichsweise naheliegend, den Blockgletscher zum Klimaarchiv zu erklären. Die VAW-Forscher*innen mutmassten, im über 50 Meter tiefen Permafrost auf ökologische Marker aus weit zurückliegenden Vergangenheiten zu stossen, sie erhofften sich also Informationen über die Klimaentwicklung des Alpenraums. Dafür wurden die in den Bohrkernen eingeschlossenen Luftblasen, Pollen und Isotope im Labor analysiert.⁸⁷

⁸⁴ Vgl. Achermann 2020, S. 11–14; Martin-Nielsen 2013, S. 60–64. Zur Eiskernforschung im Kontext der *Earth System Sciences*, siehe Isberg 2022a. Zur Geschichte von Tiefenbohrungen im Ozeanboden, siehe Isberg 2022b.

⁸⁵ Vgl. Oeschger u. a. 1977. Das Projekt am Colle Gnifetti eignete sich besonders zur Brückenbildung mit dem Permafrost am Piz Corvatsch. Laut einem Forschungsantrag von 1989 sollten sich die Bohrlöcher am Corvatsch und am Monte Rosa gewissermassen gegenseitig mit Daten füttern, indem man das Fliessverhalten des Gletschers mit dem des Blockgletschers verglich. Vgl. Haeberli, Funk und Iken, «Antrag TH-3 89-2 für die Durchführung eines ETHZ-internen Forschungsprojektes», 1989, ETHZ EZ-1.4/574.

⁸⁶ Dania Achermann argumentiert, dass sich die Glaziologie so von einer geologischen zu einer Ingenieurwissenschaft wandelte. Vgl. Achermann 2020, S. 7.

⁸⁷ 1990 organisierte die VAW zu den «Pilotanalysen» der Bohrkern eine Workshop. Siehe Haeberli 1990.



Procli
Alle bohren dich an. Im Eis, im Ozean... Was soll denn das?

Abb. 6: Illustration in der ersten Ausgabe der ProClim News von 1989. ProClim, das «Klimaprogramm der Schweiz», ist eine 1988 gegründete Ausstauschs- und Informationsstelle der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften. (Quelle: ProClim und Schotterer 1989, S. 14.)

Das Klimaarchiv war nicht das einzige Eisen im Feuer. Nach eigener Aussage verfolgte die Arbeitsgruppe am Piz Corvatsch mehrere Forschungsansätze gleichzeitig. Parallel zur Laboranalyse untersuchte sie auch die thermische und morphologische Veränderung des Blockgletschers – nicht anhand der Sedimentproben, sondern durch Messungen an den Bohrlöchern. Diese Langzeitbeobachtung rückte später in den Mittelpunkt der Forschungsbemühungen. Für den Moment eröffneten sich Berührungspunkte mit der Klimaforschung aber am überzeugendsten, wenn die Wissenschaftler*innen die *Beständigkeit* ihres Forschungsobjekts betonten. Was ursprünglich als ein besonders innovatives Forschungsziel formuliert worden war, erwies sich schliesslich als Sackgasse: Ein aufschlussreiches Klimaarchiv wurde aus dem Blockgletscher Murtél 1 nicht. 2002, in einem Rückblick auf die Permafrostforschung im Corvatsch-Furtschellas Gebiet, war der Blockgletscher sogar nie ein Klimaarchiv gewesen. Die Paläoklimatologie war in der Zwischenzeit der unspezifischen physikalisch-chemischen Analyse der Eis- und Gesteinsproben gewichen.⁸⁸ Einen Zweck erfüllte das Klimaarchiv dennoch: Es erleichterte für einige Jahre die Kommunikation mit Aussenstehenden, also die Vermittlung dieser schwer verständlichen Forschungsanlage.

⁸⁸ Vgl. Hoelzle, Vonder Mühl und Haeberli 2002.

Die Projektverantwortlichen musste immer wieder eine Verlängerung ihrer Finanzmittel bei der Forschungskommission beantragen. Im März 1992 – das Projekt lief bereits seit fünf Jahren – äusserte sich Hannes Flühler, Professor für Bodenphysik an der ETH Zürich, in einem Gutachten folgendermassen:

[D]er Forschungsansatz, der Mut und die Energie, welche diese Art von Untersuchungen unter adversen Bedingungen in Extremlagen verlangen, und die Ergebnisse der bisherigen Arbeiten überzeugen mich. [...] Das vorliegende Gesuch wirft aber trotzdem einige Fragen auf. Es ist eine Fortsetzung laufender Untersuchungen. Aufgrund der vorgelegten Beige an Veröffentlichungen, besteht kein Zweifel, dass diese Forschergruppe kompetent arbeitet; sich international exponiert und Beachtung findet. Die Gesuchsteller machen es einem aber nicht besonders leicht, herauszufinden, was im eigentlichen Vorläuferprojekt [...] effektiv gemacht wurde.⁸⁹

Dem Gutachter erschloss sich also nicht ganz, was die Forscher*innen in den vergangenen Jahren eigentlich untersucht hatten. Aber offensichtlich verzeichneten die Projektteilnehmer*innen Erfolge: Dem Verlängerungsantrag lagen zahlreiche Publikationen in einschlägigen Fachzeitschriften bei, die Autoren fuhren zu den wichtigen Konferenzen von Trondheim bis Peking. Mit den «Ergebnissen» war Flühler also grundsätzlich zufrieden, und seine prinzipielle Zustimmung wusste der Gutachter auch zu rechtfertigen: Er erklärte der Forschungskommission, dass «'Permafrostlinsen' im Untergrund die klimatische Entwicklung über lange Zeitspannen mitteln und im Sinne eines Umweltmonitors speichern».⁹⁰ Den damaligen Forschungsstand gab das eigentlich nur ungenau wieder: Eigentlich hatten sich geomorphologische und geothermische Aspekte inzwischen als relevanter erwiesen, die Laboranalyse des Sediments bezeichnete die Arbeitsgruppe zu diesem Zeitpunkt selbst als «ausgesprochen schwierig».⁹¹ Hannes Flühlers Stellungnahme soll hier aber nicht als Zeichen von Ignoranz gedeutet werden. Aus einer Aussenperspektive gab sie den Status des Projekts adäquat wieder: Die Kernbohrung im Gebirgspermafrost war gleichzeitig fragwürdig und zukunftsweisend. Das muss man im Hochschulbetrieb der 1980er Jahre ausdrücklich nicht als defizitär verstehen: Im akademischen Antragswesen erwies sich die Forschungsanlage als flexibel und produktiv. An den Permafrost unter der Bohrmaschine liessen sich nicht eine, sondern viele Fragen richten. Diese Deutungsoffenheit erlaubte es den Wissenschaftler*innen, ihren Untersuchungsgegenstand laufend der neu gewonnenen Evidenz anzupassen. Obwohl das Projekt nicht alle ausgegeben Ziele erfüllen konnte und sich diese Ziele während der Projektlaufzeit noch dazu verschoben, prägte die Bohrung am Piz Corvatsch massgeblich, was Permafrostforscher*innen im Gebirge

⁸⁹ Flühler, «Projekt TH-9/92-2 <Permafrost und kaltes Eis in den Alpen> von Dr.W.Haeberli et al.», Brief an P. Stössel und Forschungskommission der ETHZ, 31.03.1992, ETHZ EZ-1.4/955, S. 1.

⁹⁰ Flühler, «Projekt TH-9/92-2 <Permafrost und kaltes Eis in den Alpen> von Dr.W.Haeberli et al.», Brief an P. Stössel und Forschungskommission der ETHZ, 31.03.1992, ETHZ EZ-1.4/955, S. 1.

⁹¹ Haeberli, Iken und Funk, «Antrag TH-9 92 -2 für die Durchführung eines ETHZ-internen Forschungsprojektes <Permafrost u. kaltes Eis in den Alpen>», 1992, ETHZ EZ-1.4/955, S. 2.

erforschten.⁹² In diesem Prozess integrierte sich das Forschungsfeld «Gebirgspermafrost» in sein institutionelles Umfeld. Die Phase des Auftauchens von Permafrost zwischen Forschung und Baustelle ist damit vorläufig abgeschlossen.

Zusammenfassung

In der zweiten Hälfte der 1960er Jahre begann ein wissenschaftliches Objekt an Kontur zu gewinnen, das man zunächst als «alpinen» und später öfter als «Gebirgspermafrost» bezeichnete. Dieser Prozess vollzog sich nicht im luftleeren Raum – Bezugspunkte gab es für die Wissenschaftler und Techniker mehr als genug. Dazu zählten die Permafrostforschung in den Polargebieten, die glaziologische Alpenforschung, geophysikalische Sondierungsverfahren, aber auch die auf das Hochgebirge spezialisierte Bautechnik und später die Klimatologie und Eiskernforschung. In diesem dichten Referenznetz tauchte Permafrost auf mehreren Ebenen auf: als ein *medientechnisches* Problem von Instrumenten, Daten und deren Darstellung (wie lassen sich Temperaturunterschiede im Erdboden messen und visualisieren?); als *ingenieurstechnisches* Problem auf hochalpinen Baustellen (wie baut man eine stabile Seilbahn?); als *kommunikatives* Problem zwischen Expertengruppen und im Hochschulbetrieb (wie kommuniziert man über einen tendenziell uneindeutigen Gegenstand?). In allen Aktionsfeldern ging es darum, die Eigenartigkeit von Permafrost zu berücksichtigen – die Eigenartigkeit eines Objekts, das man nicht sehen konnte, das sich ständig veränderte, das sich selten an Grenzen hielt. Dafür waren pragmatische Entscheidungen, interpretative Flexibilität und manchmal auch ein gewisser Mut zur Ungenauigkeit gefragt.

Um 1970 experimentierte der Geomorphologe Dietrich Barsch mit verschiedenen geophysikalischen Sondierungsverfahren. Seine Messungen an der Oberfläche boten unterschiedliche Perspektiven ins Innere von Permafrostböden. Zum Beispiel versuchte Barsch, in einem Blockgletscher Permafrost und Auftauchschicht zu trennen. Dieser Isolationserfolg gelang durch einen zielorientierten Umgang mit den verfügbaren Instrumenten. Barschs Augenmerk war dabei weniger auf Präzision als auf Praktikabilität ausgerichtet. Diesen Pragmatismus trieb sein Doktorand Wilfried Haerberli auf die Spitze. 1975 veröffentlichte Haerberli eine Studie zur geografischen Permafrostverbreitung am Flüelapass (Graubünden). Haerberli ermittelte in seinem Testgebiet eine Permafrostzone, die keine definitiven Grenzen, aber immerhin probabilistische Konturen besass. Dafür integrierte er diverse

⁹² Eine wichtige Rolle spielte dabei auch die Ausbildung junger Forscher*innen. Bereits die Bohrarbeiten wurden durch Studenten und Doktoranden unterstützt, und in den folgenden Jahren waren die Datenerhebungen in Diplom- und Doktorarbeiten eingebettet.

Umweltfaktoren wie die Lufttemperatur, das Relief, die Sonneneinstrahlung oder die Schneedecke. Seinen heterogenen Datenbestand bereitete Haeblerli anschliessend diagrammatisch auf. Daraus ergab sich ein integriertes Zahlenbild, in dem sich schliesslich ein Verbreitungsmuster abzeichnete.

Wissen über Gebirgspermafrost entstand nicht exklusiv an Hochschulen, sondern häufig unmittelbar in der Anwendung. Der Schauplatz der Baustelle rückt die junge Gebirgspermafrostforschung in einen gesellschaftlichen Kontext. Ein instruktives Beispiel bietet der Bau der Kleinmatterhornbahn in der zweiten Hälfte der 1970er Jahre. Das umstrittene Projekt führte zu einer Re-Imagination des Kleinmatterhorns als profitable Tourismusdestination. Diese Umdeutung ging mit einer anspruchsvollen Arbeit einher. Besonders die eisigen Temperaturen auf dem Gipfel machten den Bauarbeitern und den Ingenieuren zu schaffen. Um eine stabile Vergnügungslandschaft zu bauen, mussten die Techniker den Wärmefluss zwischen der Seilbahn und ihrer Umgebung kontrollieren. Dafür kooperierte die Baufirma mit Wissenschaftlern und geotechnischen Experten. In diesem Arbeitsumfeld kann man etwas über den Zusammenhang von Diagrammen und Baumassnahmen lernen: Diagramme eröffneten am Kleinmatterhorn Handlungsräume, indem sie die kollektive Wahrnehmung der Akteure ausrichtete und vereinheitlichte. Problematische Bereiche mussten sondiert, möglichst genau lokalisiert und anschliessend ins System integriert oder ausreichend isoliert werden. Die Grenze von Seilbahnkomplex und Umwelt war auch eine *thermische* Grenze.

In der zweiten Hälfte der 1980er Jahre emanzipierte sich die Gebirgspermafrostforschung von ihrem Anwendungskontext. Richtungsweisend für diese Entwicklung war eine Kernbohrung am Piz Corvatsch im Oberengadin. In finanzieller, personeller, technischer und betrieblicher Hinsicht war das Projekt präzedenzlos. Einen direkten Blick in den Blockgletscher bot die Kernbohrung allerdings immer noch nicht. Am Piz Corvatsch verfolgte die Arbeitsgruppe einen mehrspurigen und prinzipiell ergebnisoffenen Ansatz. Der tendenziell unterbestimmte Forschungsgegenstand irritierte immer wieder sein institutionelles Umfeld. Um zu klären, was eine Kernbohrung im Gebirgspermafrost bedeutete, war deshalb die Verbindung zu stabilen und fortschrittskonnotierten Forschungsanlagen notwendig. Dafür suchten die VAW-Wissenschaftler*innen den Anschluss an die interdisziplinäre Klima- und Bohrkernforschung. Der Begriff des Klimaarchivs erleichterte die Verständigung mit hochschulinternen Gutachtern sogar dann noch, als sich andere Forschungsziele als gewinnbringender erwiesen hatten. Im Hochschulbetrieb der 1980er Jahre war es Risiko wie Chance, dass es sich bei Gebirgspermafrost um ein noch nicht gänzlich gefestigtes Forschungsobjekt handelte.

Tatsächlich markiert die Kernbohrung am Piz Corvatsch einen Kipppunkt in dieser Geschichte. Sie wird uns deshalb im nächsten Kapitel wiederbegegnen. Zwar entwickelte sich der Blockgletscher nicht zu einem stabilen Klimaarchiv, aber nach und nach zu einem dynamischen Klimaindikator. Die Gründe dafür liegen nicht nur im Oberengadin und an der VAW in Zürich. Ausschlaggebend waren breite Diskursverschiebungen und eine unerwartete Kette von Ereignissen.

3 Abtauen: Klima, Katastrophe und neue Beobachtungstechniken

Im Sommer 1994 begann die *Luftseilbahn Andermatt-Gemsstock* mit einer kostenintensiven Renovierung ihrer Bergstation. In den Hohlräumen im Fels war Eis aufgetaut. Weil sich das Lockergestein dabei destabilisiert hatte, injizierten Bauarbeiter*innen mehrere hundert Tonnen Beton in den Gipfel des Gemsstock. Die Kosten beriefen sich laut Direktor Hans Leu auf rund eine Millionen Franken.⁹³ Für die Arbeiten interessierte sich auch das *Schweizer Fernsehen* (SF). Das öffentliche Medienhaus platzierte in der quotenstarken Nachrichtensendung *10 vor 10* einen knapp fünfminütigen Beitrag zum Thema Permafrost, der mit einem Lagebericht vom Gemsstock startete.

Hitzesommer 1994. Sommerliche Temperaturen auch über dem Gurschengletscher ob Andermatt auf knapp 3000 Metern. Da, wo ewiges Eis liegt, steigen die Temperaturen über Wochen weiter über Null Grad.

Mit der Gemsstockbahn geht's hier aufwärts über zerklüftete Felsen. Noch wirkt das Bodeneis in diesen Geröllhängen wie eine Eisenarmierung und fixiert tausende von Tonnen Lockergestein. Der Boden ist hier ganzjährig gefroren. Doch ganz oben bei der Bergstation beginnt der Boden zu tauen. Der Berg bewegt sich.

Mit aufwendigen Bohrarbeiten muss die Stabilität jetzt wiederhergestellt werden. [...] Die Bahn wurde vor 30 Jahren auf ewiges Eis gebaut. Zerklüfteter Felsen und Geröll wurden durch den Permafrost zusammengehalten. Der Bau war mit Pfeilern gesichert. Weil das Eis jetzt aber abschmilzt, müssen die Felsspalten künstlich verkittet werden hunderte von Tonnen Mörtel werden hier in den Felsen gespritzt. Zement muss den natürlichen Klebstoff Eis, den Permafrost, ersetzen.⁹⁴

Diese Szenerie hat einige Ähnlichkeiten mit den Problemlagen auf dem Schilthorn (ca. 1965), dem Kleinmatterhorn (ca. 1976) oder dem Jungfraujoch (ca. 1983). Die Höhendifferenz zwischen dem Gemsstock und dem Schilthorn, wo am Anfang dieser Geschichte eine gewaltige Eislinse auftauchte und fotografiert wurde, beträgt nur acht Meter. An beiden Orten war, im Abstand von gut 30 Jahren, von Permafrost die Rede. In beiden Fällen bewegte sich etwas, was sich nicht bewegen sollte. An beiden Orten wurde gebohrt und gehämmert und es floss Zement, um ein Bergmassiv zu stabilisieren. Damit ist jedoch bloss der Rahmen gesteckt. Gerade durch das Festhalten einiger Konstanten verschiebt sich zwischen den zwei Szenen vieles, ja es verschiebt sich fast alles.

1.) Der Kontext: Das SF berichtete auf dem Gemsstock nicht von einem technischen Wunderwerk und auch nicht von einem Unfall. Anlass der Reportage war ein zweiwöchiges Treffen des *Verhandlungskomitees zur Klimakonvention (Intergovernmental Negotiating Committee, INC)* in Genf, ein Vorbereitungstreffen für die erste Weltklimakonferenz (COP 1) im Jahr 1995.⁹⁵ Den Journalist*innen ging es um lokale Kosten und Risiken einer globalen

⁹³ Vgl. auch o. A., «Klimaerwärmung als Gefahr für Andermatt Bergbahn», 20.07.1994, NZZ, S. 17.

⁹⁴ Bucher 1994, Abschn. 16:00-17:15.

⁹⁵ Vgl. auch o. A., «Zusätzliche CO₂-Reduktion verlangt», 23.08.1994, NZZ, S. 12.

Systemänderung – um die Imagination des Skifahrens auf einem zu warmen Planeten. Statt technischer Schwierigkeiten bei einer Tourismusexpansion verhandelten sie die Folgen von Klimaveränderungen in den verbauten Alpen.

2.) Die Kommunikationsmedien, die Absender*innen und Adressat*innen: Die Bauprobleme am Gemsstock wurden nicht in einer Bauzeitung diskutiert, sondern in einer Nachrichtensendung mit nationaler Reichweite. Im Fernsehen sprach der ETH-Wissenschaftler Daniel Vonder Mühl als öffentlichkeitszugewandter Katastrophenexperte.

3.) Das Problem: Die Problemlage auf hochalpinen Baustellen sah von den 1960er bis in die 1990er Jahre ungefähr so aus: Permafrost identifizieren, anschliessend Permafrost isolieren und/oder technisch integrieren – fertig. Die Betoninjektion dreissig Jahre später am Gemsstock manifestierte einen Abschied von diesem Modell. Nicht unbedingt, weil sich die Baupraktiken grundlegend geändert hatten: Auch am Gemsstock verwandelte die Betoninjektion den Berggipfel in einen Bestandteil des Seilbahnkomplexes. Neu war die Dynamik von Problem und Lösung. Der Gemsstock bezeichnete nicht länger eine isolierte Einheit, innerhalb derer man raumgreifendere Umweltveränderungen gefahrlos vernachlässigen konnte. Mit der Betoneinspritzung reagierte der Bahnbetreiber auf ein neuartiges Risiko, nämlich eine klimabedingte Destabilisierung des Gipfelmassivs. Mit einer einmaligen Aktion war es deshalb nicht getan. Bahndirektor Hans Leu erklärte völlig selbstverständlich, dass die Felsspalten im nächsten Jahr erneut überprüft werden müssten.⁹⁶ Wie hiess es noch am Anfang des Fernsehbeitrags? «Die Bahn wurde vor 30 Jahren auf ewiges Eis gebaut.» Dreissig Jahre später war die Ewigkeit vorbei.

4.) Das Phänomen «Permafrost»: Für die historischen Akteur*innen änderte sich schliesslich, was sie unter Permafrost verstanden. Die Veränderung ist pointiert: Die Techniker am Schilthorn hatten anfangs der 1960er Jahre das Gipfelmassiv mit Ankern und Drahtseilen verbunden. Mit diesen Mitteln stabilisierten sie das eiszerklüftete Schiefergestein, sodass der Permafrost fest eingeschnürt und sicher versorgt war. Und am Gemsstock? Dort war der Permafrost plötzlich selbst die «Eisenarmierung»: ein unsichtbares Bindemittel im Inneren der Berge, das nicht nur oberhalb von Andermatt, sondern womöglich überall in den Alpen auftaute. Die hunderte Tonnen Mörtel, die die Bauarbeiter*innen in den Fels einspritzten, sollten diesen «natürlichen Klebstoff [...] ersetzen». Permafrost war nun ein natürlicher *Stabilitätsfaktor*, begreifbar gemacht durch eine technische Metapher.

Damit aus einem Problem ein Stabilitätsfaktor wird, muss einiges passieren. Wie wurde das klimabedingte Abtauen des Permafrosts im Hochgebirge zu einem wissenschaftlichen, technischen und gesellschaftlichen Problem? Temperaturen kann man auch unter

⁹⁶ Bucher 1994, Abschn. 17:15-18:00.

der Erde messen – eine Klimaentwicklung beobachtet man so aber noch nicht. Wenn etwas in unbekanntem Mustern verblasst, zwischenzeitlich wieder wächst, um sich anschließend noch weiter zurückzuziehen, dann lässt sich dieser Prozess nur unter grossem technischen Aufwand wahrnehmen und problematisieren. Auch das Abtauen muss man immer wieder abbilden – besonders, wenn ausgerechnet etwas Unsichtbares verschwindet.

Temperatursignale aufzeichnen

In der ersten Hälfte der 1980er Jahre diskutierten Wissenschaftler*innen intensiv darüber, wie sich der Treibhauseffekt auf die kalten Ökosysteme der Arktis auswirkte.⁹⁷ Daran beteiligte sich auch die Permafrostcommunity. Im Jahr 1986 gelangten Ergebnisse der Diskussion bis in die Zeitschrift *Science*. Arthur Lachenbruch und Vaughn Marshall, zwei nordamerikanische Permafrostforscher, präsentierten im renommierten Magazin einige Grafiken, die einen markanten Temperaturanstieg im Permafrost im Norden Alaskas indizierten (siehe Abb. 6). Die U.S.-Amerikaner hatten keine allzu schweren Geräte aufbieten müssen, um tief im Erdboden Temperaturmessungen vorzunehmen. Löcher gab es im Norden Alaskas genügend: Ihre Daten hatten die Geophysiker der *U.S. Geological Survey* in Erdölquellen erhoben. In tausende Kilometer voneinander entfernten Bohrlöchern hatten Lachenbruch und Marshall Temperaturprofile aufgezeichnet. Fast alle wiesen eine auffällige Krümmung, eine «anomalous curvature» im Bereich der oberen 100 Meter auf.⁹⁸

Aus ihren Kurven leiteten Lachenbruch und Marshall kaum Aussagen über den momentanen Zustand des Permafrosts ab. Vielmehr nutzten sie die Daten, um etwas über die Vergangenheit an der Oberfläche zu erfahren. Arthur Lachenbruch studierte schon seit dreissig Jahren den Wärmefluss in der Umgebung von Erdölquellen und Gebäuden.⁹⁹ Nun interessierte er sich für Klimaveränderungen in grossen Massstäben. Dafür deutete er die Industrieanlagen als Messstellen und den Erdboden als Temperaturmedium. Letzteres machte er sogar explizit, in einer bemerkenswerten informationstheoretischen Sprache: «the deeper the temperature measurement, the farther back in time is the interval of surface temperature history it represents, and the smoother is the signal as the high-frequency noise is progressively filtered out.» Und ganz allgemein: «the global warming is expected to be greatest and first observable and in a *medium* (continuous permafrost) well-suited to detection and monitoring of such changes.»¹⁰⁰ Wenn sich ein Wärmeimpuls

⁹⁷ Siehe z.B. die Konferenz McBeath 1984.

⁹⁸ Lachenbruch und Marshall 1986, S. 689. Vgl. auch Lachenbruch, Cladouhos und Saltus 1988.

⁹⁹ Siehe Lachenbruch und Brewer 1957; Burn 2021.

¹⁰⁰ Lachenbruch, Cladouhos und Saltus 1988, S. 10, 17. Hervorh. J. S.

langsam von der Oberfläche in den Erdboden ausbreitete – könnte man dann nicht aus dem momentanen Zustand das ursprüngliche Signal rekonstruieren? Lachenbruch und Marshall argumentierten, dass ihr Medium (der gefrorene Erdboden) mit zunehmender Tiefe sogar das Rauschen kurzfristiger Temperaturschwankungen herausfilterte. Was bleibe, sei ein glattes Signal, sprich: ein genereller Trend. Die Autoren interpretierten ihre Diagramme als Beleg für einen Temperaturanstieg in der ganzen Arktis im Verlauf des letzten Jahrhunderts.

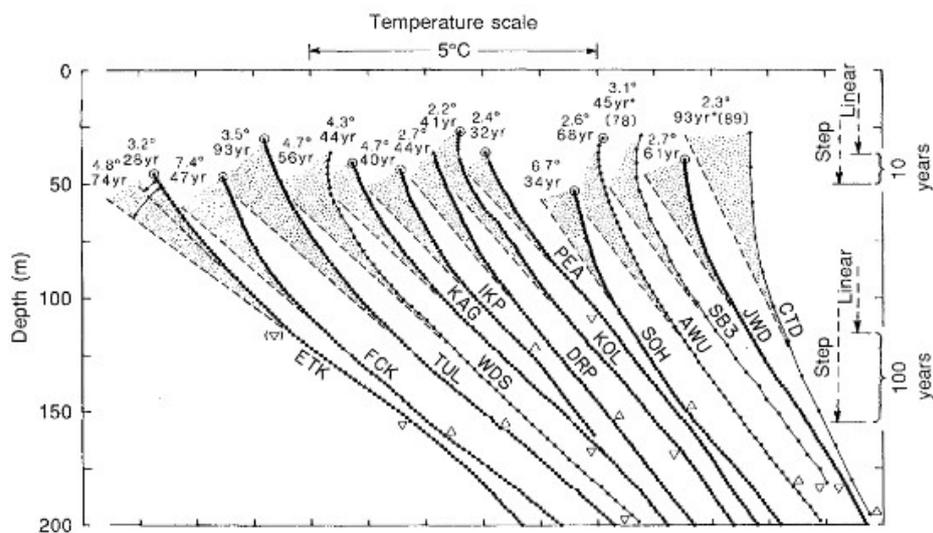


Abb. 7: Temperaturprofile aus Erdölquellen im Norden Alaskas, die Anzeichen für eine Erwärmung über mehrere Jahrzehnte aufweisen. Die Gleichgewichtslinie ist jeweils gestrichelt vermerkt. (Quelle: Lachenbruch und Marshall 1986, S. 692.)

Nicht viel später tauchte auch in den Schweizer Alpen ein Temperaturprofil auf, ganz ohne Erdölförderung (siehe Abb. 7). Denn schliesslich gab es auch in den Alpen ein Bohrloch, das bis tief in einen Permafrostboden hineinragte (siehe Abschnitt 2.5). Nachdem am Piz Corvatsch die Bohrarbeiten und die ersten Sondierungen im Sommer 1987 abgeschlossen waren, begannen die Wissenschaftler*innen der *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie* (VAW) mit einer präziseren Datenerhebung im Gelände. Im Jahr 1990 publizierte die Projektgruppe ein Temperaturprofil des Blockgletschers. Die Zahlengrundlage stammte aus vier Messdurchläufen, die zwischen Anfang November 1987 und Ende Juli 1988 durchgeführt worden waren. Die gekrümmte Kurve wies frappierende Ähnlichkeiten mit den Profilen aus Alaska auf. Wilfried Haeberli und Daniel Vonder Mühll diagnostizierten: «Permafrost in the Alps is thought to have warmed up as well following the end of the Little Ice Age around 1850; its thickness and temperature profile may therefore not be in equilibrium with present-day conditions at the surface».¹⁰¹ Der Blockgletscher im Oberengadin befände sich augenscheinlich nicht im Gleichgewicht mit den

¹⁰¹ Vonder Mühll und Haeberli 1990, S. 157.

gegenwärtigen Bedingungen an der Oberfläche.¹⁰² Knapp 15 Jahre zuvor hatte Dietrich Barsch am gleichen Ort (siehe Abschnitt 2.1) noch Gleichgewichtsbedingungen vermutet.

Wie konnten Temperaturmessungen, die die VAW innerhalb von neun Monaten durchführte, als Indizien für ein Ungleichgewicht im Zeitraum eines Jahrhunderts dienen? Wie gelang die Identifikation von Krümmung und Anomalie? Um das nachzuvollziehen, müssen wir uns die Diagramme aus Alaska und aus den Alpen genauer ansehen.

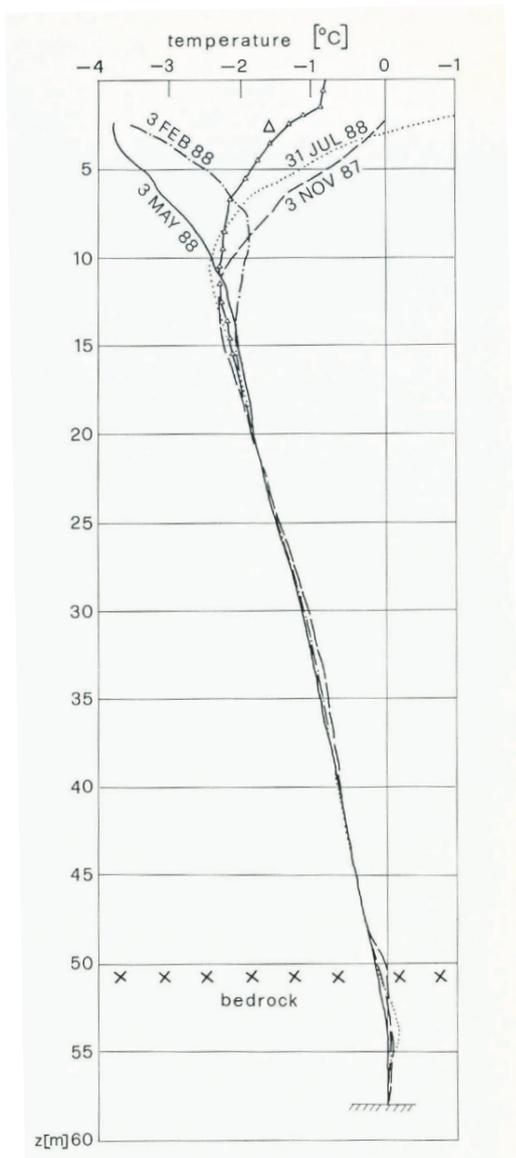


Abb. 8: Saisonale Temperaturprofile und ihr Mittelwert (gekennzeichnet mit einem Dreieck), gemessen im ersten Jahr nach der Bohrung im Blockgletscher Murtél (Quelle: Vonder Mühl und Haeberli 1990, S. 153.)

Wie man auf dem Temperaturprofil vom Corvatsch sieht, fluktuiert die Temperatur im oberen Teil des Bohrlochs im Jahreszeitenwechsel. Unterhalb von ca. 20 Metern Tiefe finden im Messzeitraum keine signifikanten Veränderungen statt. Zusätzlich zu den vier

¹⁰² «Aufgrund ihrer geringen sommerlichen Auftautiefen dürften sich die aktiven Blockgletscher im Gleichgewicht mit ihrer klimatischen Umwelt befinden.» Barsch 1973, S. 143.

gestrichelten saisonalen Kurven weist die Grafik ein abstrahiertes Element auf: das gemittelte Jahrestemperaturprofil, markiert durch ein Dreieck. Es formt einen Bogen (die «anomalous curvature»): Von oben nach unten gelesen sinkt die Temperatur zunächst konkav bis zu einer Tiefe von ca. 15 Meter und steigt dann linear, bis sie bei ca. 55 Metern Tiefe die 0°C Grenze überschreitet.

Wärme breitet sich im Erdboden nur langsam aus. Permafrostböden reagieren auf Temperaturschwankungen an der Oberfläche deshalb nur langsam. «[P]ermafrost has a long 'memory'», wie es die VAW-Forscher formulierten.¹⁰³ Aufgrund dieser Verzögerung ist jeder Status Quo das Resultat vergangener Temperaturbedingungen. Die gemittelte Kurve aus dem Blockgletscher erlaubte deshalb Schlussfolgerungen, die weit über den neunmonatigen Messzeitraum hinausgingen. Damit eine Permafrostschicht eine konstante Mächtigkeit aufweist – das heisst: für ein Gleichgewicht – müsste laut Theorie die gemittelte Temperatur linear verlaufen, also diagonal von der Oberfläche bis zur Null-Grad-Grenze im Erdboden (siehe die gestrichelte Linie in Abb. 7). In einem solchen Gleichgewicht befand sich der Blockgletscher am Piz Corvatsch im Jahr 1988 nicht. Offenbar steckte er in einem Anpassungsprozess an eine wärmere Oberfläche. Diese Feststellung war nicht allein das Ergebnis eines Messprozesses, sondern folgte auch aus der mathematischen Modellierung des Wärmeflusses unter der Erde. Dafür brauchte es keine langen Datenreihen. Als Temperaturmedium zeichnete Permafrost sich also über ein Zusammenspiel von *Dynamik* und *Latenz* aus.

Heute hat die Permafrostforschung eine distinkte wissenschaftliche Bildsprache entwickelt. Die Grafiken greifen einerseits die Ästhetik anderer «Klimabilder» auf, um zwischen normalen und anormalen Schwankungen zu unterscheiden – häufig durch rote, schnell ansteigende Kurven.¹⁰⁴ Die Permafrostforschung besitzt aber auch genuine ikonografische Motive. Zu den prominentesten zählt das gemittelte Jahrestemperaturprofil mit seiner «anomalous curvature», wie es in Alaska Mitte der 1980er Jahre und kurze Zeit später im Oberengadin erstmals aufgezeichnet wurde.¹⁰⁵ Solche Grafiken belegen heute einen robusten Zusammenhang zwischen dem anthropogenen Klimawandel und dem Auftauen von Permafrost in den Alpen. Um 1990 gaben die Temperatursignale aus den Alpen aber nur einen isolierten Eindruck ab. Das hatte auch mit strukturellen Unterschieden zwischen Alaska und dem Engadin zu tun: Die U.S.-Amerikanischen Geophysiker Lachenbruch und Marshall betonten die geographische Streuung ihrer Datenpunkte auf 100.000 Quadratkilometern Fläche. Anzeichen für regionale (wenn nicht globale) Klimaveränderungen

¹⁰³ Vonder Mühl und Haeberli 1990, S. 157.

¹⁰⁴ Vgl. Schneider 2018.

¹⁰⁵ Siehe z.B. Haeberli, Noetzli und Vonder Mühl 2023, S. 5.

beobachteten sie an der gesamten Nordküste Alaskas. Das gelang ihnen, indem sie Erdölquellen als Messanlagen interpretierten, also eine extraktivistische Infrastruktur in eine Infrastruktur des Klimamonitoring umdeuteten.

Die Integration von Erdölquellen bot sich in den Alpen nicht an. Am Piz Corvatsch verfolgte die Arbeitsgruppe der VAW mehrere Forschungsziele; ein Nachweis, dass der Blockgletscher aktuell abtaute, zählte nicht dazu. Um 1990 war es alles andere als zwingend, den Blockgletscher als Temperaturmedium zu verstehen. Die Ziele der Grossforschung am Piz Corvatsch waren zu diesem Zeitpunkt nach wie vor interpretationsoffen (siehe Abschnitt 2.6) und die Datenlage zum Zusammenhang von Permafrost und Klimaveränderungen wirkte prekär: «little is known, long-term monitoring is in its infancy and retrospective consideration of earlier developments necessarily remains somewhat speculative.»¹⁰⁶ Eine artikulierbare Wissenslücke war aber auch ein Assoziationsangebot. Immer wichtiger wurde, dass die Anlage am Piz Corvatsch laufende, länger werdende Datenreihen aufzeichnete. Statt der Laboranalyse der Bohrkern rückte die morphologisch und thermische Langzeitüberwachung der Bohrlöcher in den Mittelpunkt. So war der Permafrost am Piz Corvatsch bald nicht mehr «ewig» (Stichwort «Klimaarchiv»), sondern verzögert-veränderlich. Der wissenschaftliche Blick auf das klimabedingte Abtauen von Permafrost in den Alpen verschärfte sich jedoch nicht allein durch bessere oder längere Datensätze. Belastbare Evidenz entstand vorerst nur in sehr konkreten Problemlagen. Um das nachzuvollziehen, müssen wir etwas unvermittelt den Kontext wechseln und einen Schritt zurück machen, in den Sommer des Jahres 1987: in den Alpen ein Sommer der Jahrhundertunwetter. Von Permafrost oder Klima war damals höchstens am Rande die Rede.

Integration im Periglazialgürtel

1987 erlebte der Alpenraum einen Katastrophensommer. Im Juli starben 23 Urlauber*innen auf einem französischen Campingplatz in der Region Haute-Savoie durch eine Schlammlawine, im Veltlin begrub ein Bergsturz das Dorf Morignone unter sich, Ende August wurde das Ötztal in Österreich überschwemmt, und auch in Südtirol ereigneten sich im selben Zeitraum heftige Unwetter.¹⁰⁷ In der Inner- und Südschweiz kamen bei Überschwemmungen, Bergstürzen und Erdrutschen acht Menschen und hunderte Nutztiere ums Leben, die Bundesbehörden bezifferten die Sachschäden auf 1,2 bis 1,3 Milliarden Franken.¹⁰⁸ Die

¹⁰⁶ Haeberli 1992, S. 27.

¹⁰⁷ Vgl. Heinrich 1988, S. 26–27.

¹⁰⁸ Vgl. Zeller und Röthisberger 1988.

Schweizer Bergregionen kamen im Verlauf des Sommers nicht zur Ruhe, einige Gemeinden wurden gleich mehrmals von extremen Wetterereignissen heimgesucht.



Abb. 9: Weggespülte Doppelspur der SBB-Gotthardlinie in der Nähe von Gurtnellen (Uri) (Quelle: Enz, «Unwetter Uri», 25.08.1987, ETHZ e-pics Com_L36-0227-0001-0006.)

Der Katastrophensommer produzierte, neben all den schmerzvollen Erinnerung, dem Tod von Menschen und Vieh und Schäden in volkswirtschaftlich relevanter Grössenordnung, eine eindrückliche Bildgewalt. Was die Wirkung der Natur verdeutlichte, waren die massenmedial zirkulierenden Bilder von zerstörter Infrastruktur und einer völlig desintegrierten Alpenlandschaft: überflutete Strassen, eingestürzte Brücken und erodierte Gleisbette, im Hintergrund das gleichmässige Rattern eines Helikopters, der Zugang zu den abgeschotteten Krisengebieten gewährte.¹⁰⁹ Das Verhältnis von Natur, Technik und Gesellschaft wurde fast sofort Gegenstand einer politischen Debatte. Unmittelbar nach den Desastern stellten Journalist*innen und Politiker*innen vor allem die Präventivmassnahmen durch den Hochwasserschutz in Frage. Daraus entwickelte sich eine grundsätzliche Diskussion über die Ursachen der Katastrophen. Schnell war davon die Rede, die Naturgewalten hätten in «bisher kaum bekannten Ausmass» gewütet.¹¹⁰ Aber Präzedenzlosigkeit und Natur, wie passte das zusammen? Handelte es sich bei den Naturkatastrophen um statistische Ausreisser, auf die sich selbst eine hochmoderne Gesellschaft nicht einstellen

¹⁰⁹ Siehe etwa o. A. 1987.

¹¹⁰ o. A., «Interpellation der sozialdemokratischen Fraktion: Unwetterkatastrophen. Analyse und Vorbeugemassnahmen», 21.09.1987, BAR, Digitale Amtsdrukschriften 87.545, S. 1892.

konnte?¹¹¹ Oder war der aussergewöhnliche Katastrophensommer Ausdruck einer neuen Normalität, die in den Alpenländern ein fundamentales Umdenken erforderte?

Aus umweltpolitischer Sicht fiel der Katastrophensommer in ein ohnehin desaströses Jahrzehnt. 1984 war im indischen Bhopal eine giftige Gaswolke aus einer Chemiefabrik entwichen, die Zahl der Langzeittodesopfer schätzt man heute auf etwa 20.000.¹¹² Im kollektiven Schweizer Gedächtnis dürften besonders die Kernschmelze in Tschernobyl und zudem der Chemiebrand in Schweizerhalle präsent gewesen sein, zwei Katastrophenergebnisse, die sich erst ein Jahr vor den Unwetterereignissen abgespielt hatten.¹¹³ Zudem hatte im Alpenraum schon länger ein ortsgebundener Ökologiediskurs floriert. Waldsterben, Luftverschmutzung, Flächenversiegelung, Bodenerosion und Massentourismus: Ökologische Probleme gab es dort in den 1980er Jahren genügend.¹¹⁴ Aus diesen zwei Gründen – dem globalen Konjunkturschub von Umweltsorgen im Zeichen der Katastrophe und dem Wissen um die ökologische Sensibilität der Region – lag es nahe, den Unwettersommer weniger als *Natur-* als als *Umwelthkatastrophe* zu deuten.¹¹⁵ Diese Diskussion entwickelte einiges an Momentum.¹¹⁶ Im Februar 1988 veranlasste der Bundesrat eine Aufarbeitung der Unwetter im Rahmen des *Nationalen Programms Hochwasser* unter der Schirmherrschaft des *Bundesamts für Wasserwirtschaft* (BW/W). Für die «Ursachenanalyse» der Unwetter sprach der Bundesrat dem BW/W einen Gesamtkredit in Höhe von 2,5 Millionen Franken bei einer Laufzeit von 1988 bis 1990 aus. Andere Ämter, Hochschulen und Privatfirmen bezog das BW/W bedarfsgerecht ein, indem die Projektleiter Aufträge für Einzelprojekte verteilten.¹¹⁷ An einem solchen Projekt beteiligte sich der Glaziologe und Permafrostforscher Wilfried Haerberli, zur gleichen Zeit Leiter der Kernbohrung am Piz Corvatsch. Gemeinsam mit anderen Physikern und Geografen der ETH Zürich war Haerberli verantwortlich für die Untersuchung der Murgänge des Sommers 1987.

¹¹¹ Vgl. etwa die Stellungnahme des Urner Abteilungsleiters für Wasserbau in Gurtellen unmittelbar nach der Flutkatastrophe. «Natürlich ist dort [beim Hochwasserschutz, Anm. J.S.] nichts vernachlässigt worden. Aber was wollen Sie vernachlässigen, wenn die Natur ihnen solche Niederschlagsmengen beschert?» o. A. 1987, Abschn. 7:55–8:22.

¹¹² Joachim Radkau spricht von der «schlimmste[n] Katastrophe der Industriegeschichte». Radkau 2011, S. 501.

¹¹³ Für eine historische Übersicht über die Umweltbewegung Ende der 1980er Jahre im Zusammenhang mit Tschernobyl vgl. Radkau 2011, S. 506–512. Für eine zeitgenössische Einordnung des Brands in Schweizerhalle und seiner Resonanz in der Schweizer Umweltpolitik siehe Tanner 1988.

¹¹⁴ Jon Mathieu beobachtet ab den 1970er Jahren eine zunehmende «Ökologisierung der Alpen». Mathieu 2016, S. 189, 201–204. Romed Aschwanden hat diese Diagnose kürzlich aus transnationaler Perspektive ausdifferenziert. Aschwanden 2021, S. 68–122.

¹¹⁵ Den Begriff der «Umwelthkatastrophe» brachte der deutsche Geograf Werner Bätzing für den Unwettersommer ins Spiel. Vgl. Bätzing 1987; 1988. Für einen weiteren Anschlussversuch, siehe Heinrich 1988.

¹¹⁶ Siehe etwa o. A., «Interpellation der sozialdemokratischen Fraktion: Unwetterkatastrophen. Analyse und Vorbeugemassnahmen», 21.09.1987, BAR, Digitale Amtsdruckschriften 87.545, S. 1893.

¹¹⁷ Vgl. o. A., «Botschaft über ausserordentliche Massnahmen zur Behebung der Unweterschäden 1987 vom 14. Dezember 1987», 02.02.1988, BAR, Digitale Amtsdruckschriften 87.077, S. 191; Schweizerischer Bundesrat, «Bundesratsbeschluss: Hochwasserereignisse 1987. Ursachenanalyse», 29.02.1988, BAR E3363A#2009/242#2826*.

Wenn in Steilhängen die Wassersättigung einen kritischen Wert überschreitet und die nasse Erde in Bewegung gerät, bahnt sich eine Lawine aus Wasser, Gestein und Schlamm den Weg Richtung Tal. Einen solchen Erdrutsch, der eine besonders hohe Menge an Wasser führt, bezeichnet man als *Murgang* (auch «Mure» oder «Rüfe»). Der hohe Wasseranteil beschleunigt den Fliessprozess, wodurch Murgänge bis zu 100.000 Kubikmetern Gesteinsmaterial mitreissen können, mit Einzelblöcken so gross wie Einfamilienhäusern. Eigentlich sind Murgänge in den Alpen verbreitete landschaftsbildende Phänomene. In einem konkreten Einzugsgebiet treten sie aber nur unregelmässig und oft nach langen Inaktivitätsphasen auf. Im Sommer 1987 häuften sich Murgänge in drei Schweizer Regionen, nämlich im Puschlav, am Gotthardmassiv und um den Lukmanierpass. Im Rahmen der Einzelstudie sollten ca. 600 «debris flow events» systematisch auf ihre Ursachen überprüft werden.¹¹⁸ So viele zerstörerische, singuläre Ereignisse, in einem kurzen Zeitraum aber dafür gleich in mehreren Einzugsgebieten – für das BW/W und die beteiligten Hochschulinstitute war das eine herausfordernde, aber auch vielversprechende Versuchsanlage. Warum setzte das BW/W ausgerechnet auf die Expertise eines Glaziologen? Dafür sprach in erster Linie eine auffällige geografische Verdichtung: Bald nach den Unwettern fiel auf, dass die Murgänge frappierend oft im *periglazialen Gürtel* abgegangen waren, also über einer Höhe von ca. 2300 Metern.¹¹⁹ Das Adjektiv «periglazial» bezeichnet in der physikalischen Geografie Gebiete, die durch das saisonale Auftauen und Einfrieren ihrer Böden geprägt sind und die ein kaltes, aber kein glaziales Klima aufweisen. De facto liegt Permafrost in fast allen Periglazialgebieten zumindest sporadisch vor.¹²⁰

Oberhalb der Baumgrenze beobachteten Glaziolog*innen kein Waldsterben, aber dafür andere, schleichende Veränderungen: Als das BW/W die Arbeit an der Ursachenanalyse aufnahm, brachten Glaziolog*innen den Rückgang der Gletscher im Alpenraum immer eindeutiger mit einer anthropogenen Klimaerwärmung in Verbindung.¹²¹ «Unter den Parametern, die eine integrale Bilanz über die Klimaprozesse liefern, figurieren neben der Baumringchronologie und den Trends in den Ozeanplanktons die glaziologischen Phänomene wie die Schwankungen der Gebirgsgletscher und des Permafrostes», sagte Wilfried Haeblerli 1988 bei einem Vortrag in Bern. Solche «Klimasignale» müssten allerdings zuerst «entziffert» werden. Dabei seien einerseits geographische Anomalien und andererseits temporäre Abkühlungsphasen zu berücksichtigen: Weder befänden sich Gletscher und

¹¹⁸ Zimmermann 1990, S. 387.

¹¹⁹ Vgl. Zimmermann 1990, S. 388.

¹²⁰ Vgl. French 2018, S. 4.

¹²¹ Von ca. 1960 bis 1980 verzeichneten die Alpengletscher eine Wachstumsphase. Noch 1979 stellte Peter Kasser, Professor für Glaziologie an der ETH Zürich, in einem Ausstellungskatalog die Frage: «Sind die ausserordentlich gletscherfreundliche Jahre 1974/75, 1976/77 und 1977/78 mit ihren schneereichen Wintern und kühlen Sommern nur eine Episode oder der Beginn einer längerandauernden Klimaverschlechterung?» Haeblerli und Kasser 1979, S. 9.

Permafrost überall im gleichen Ausmass auf dem Rückzug, noch seien die Jahrestemperaturen im 20. Jahrhundert monoton gestiegen.¹²²

Für einen Glaziologen bot das 600-fach abgerissene Geröll plötzlich die Möglichkeit, diesen Prozess unter einer konkreten Fragestellung zu studieren. Hingen die Murgänge womöglich mit einer Klimaveränderung im Periglazialgürtel zusammen? Besonders vielversprechend war es, die Murgangstatistik als ein *integrales Gletscher-und-Permafrost-Problem* zu interpretieren: Im Hochgebirge gab es viel Eis, das sich verbinden und vergleichen liess. Im Dezember nahmen Wilfried Haerberli und sein Kollege Martin Zimmermann an einer Konferenz in Lunteren in den Niederlanden teil. Bei der Tagung namens «Landscape Ecological Impact of Climatic Change» präsentierte die Delegation der VAW eine Fallstudie aus den Schweizer Alpen, genauer: die Murgangereignisse vom Sommer 1987. Haerberli und Zimmermann illustrierten ihre Arbeit mit einem Foto (Abb. 10). Die Aufnahme zeigt die Anrisszone des Murgangs von Münster, der im August 1987 besonders drastische Bilder produziert hatte. Man sieht Geröll, genauer ein Couloir im Hochgebirge. Spuren des Erdstoches erkennt man in der ausgespülten Hangrinne links unten. Das Bild ist, alles in allem, sehr unscheinbar. Entscheidend ist nämlich, was man auf dem Foto *nicht* sieht: Wie Zimmermann und Haerberli erklärten, war das Geröllfeld 30 Jahre zuvor noch von einem Gletscher bedeckt gewesen.

Hatte gerade das Verschwinden bestimmter Umweltfaktoren zur Häufung der Murgänge beigetragen? Um diesem Argument zu Überzeugungskraft zu helfen, musste dieses Verschwinden erst einmal beschrieben werden. Der Rückzug der Alpengletscher war vergleichsweise dankbar zu belegen. Denn Gletscher kann man sehen – oder sich wenigstens vorstellen. Das untenstehende Foto dürfte sofort die Imaginationskraft der Konferenzteilnehmer*innen in Lunteren geweckt haben. Sie sahen auf der Aufnahme zwar kein Eis, aber sie waren dazu aufgefordert sich auszumalen, wie das Geröllfeld ein paar Jahrzehnte zuvor ausgesehen haben musste, als es noch von einer Gletscherzunge bedeckt gewesen war. Der rhetorische Effekt beruhte auf einem kollektiven, fotografisch multiplizierten Bildreservoir der vergletscherten Alpen. Wo in dem Couloir Permafrost lag und wo nicht, war hingegen eine sehr abstrakte Frage, selbst auf einer wissenschaftlichen Konferenz.

¹²² Haerberli und Schüpbach 1988, S. 8–9.



Abb. 10: Anrisszone oberhalb von Münster (Quelle: Zimmermann und Haeberli 1992, S. 66.)

Die unterschiedlichen Sichtbarkeitsdispositive von Gletschern und Permafrost erzeugten unterschiedliche Formen des Verschwindens. Das Auftauen von Gletschern seit dem Ende der Kleinen Eiszeit um 1850 wurde multimedial beobachtet und dokumentiert, in Schriften, Gemälden, Fotografien oder durch wissenschaftliche Messungen. Um 1990 liessen sich die Bewegung und die Masseverluste der Gletscher relativ genau rekonstruieren.¹²³ Für Schweizer Wissenschaftler*innen bedeutete das einen veritablen Standortvorteil: «Die Glaziologen in der Schweiz schätzen sich glücklich, in unserem Land über die längste, vollständigste und am besten durchorganisierte Messreihe der Massenbilanz und Längenänderung in der ganzen Welt zu verfügen», erklärte Wilfried Haeberli 1988.¹²⁴ Diese Bewegungsmuster waren aufschlussreich für die Untersuchung der Murgänge im Katastrophensommer: Am Gotthardmassiv waren beispielsweise fast alle Auslösungszonen um 1850 noch von meterdickem Eis bedeckt gewesen, wie die Wissenschaftler der VAW durch eine Karte belegten.¹²⁵ Im Gegensatz dazu war das Abtauen der Permafrostböden

¹²³ Der Geograf Heinz Zumbühl verfolgte 1980 die Schwankungen der Grindelwaldgletschers bis ins 12. Jahrhundert zurück. Siehe Zumbühl 1980. Jiyang Chen und Martin Funk von der VAW rekonstruierten 1990 die hundertjährige Massebilanz des Rhonegletschers auf Grundlage historischer Messdaten, die Paul Louis Mercanton 1916 veröffentlicht hatte. Siehe Chen und Funk 1990.

¹²⁴ Haeberli und Schüpbach 1988, S. 9.

¹²⁵ Vgl. Karte in Haeberli, Rickenmann und Zimmermann 1990, S. 65.

nicht ohne weiteres darstellbar. Historische Aufzeichnungen gab es keine. Die Wissenschaftler konnten den höhenabhängigen Anstieg der Permafrostgrenze zwar mithilfe von statistischen Regressionsverfahren abschätzen, diese Ansätze steckten aber nach eigenem Bekunden noch in den Kinderschuhen.¹²⁶

Um die Wahrnehmung des Gletscher- und des Permafrostschwunds in den Alpen stand es um 1990 also sehr unterschiedlich. Das lag auch an der ungleichen historischen Erforschung dieser Phänomene, und damit auch an ihrer Kulturgeschichte. Die glaziologischen Messdaten, von denen Haeberli in Lunteren sprach, reichten bis ins 19. Jahrhundert zurück, als die *Schweizer Naturforschende Gesellschaft* und der *Schweizerische Alpenclub* mit einer minutiösen topografischen Vermessung des Rhonegletschers begannen (siehe Abschnitt 2.1). Die im Jahr 1874 einsetzenden Datenreihen veröffentlichte Paul Louis Mercanton 1916, motiviert hatten das Projekt klimatologische Interessen. Die Historikerin Franziska Hupfer hat gezeigt, wie eng die Geschichte der Wetter- und Klimaforschung – inklusive der Vermessung des Rhonegletschers um die Jahrhundertwende – mit der Formierung des Schweizer Bundesstaats zusammenhing. Hupfer beschreibt in ihrer Studie, wie Meteorologie und Klimatologie mit nationaler Institutionenbildung und dem «politische[n] Ordnungsmodell des Nationalstaats» verzahnt waren.¹²⁷ Im Gegensatz zur Glaziologie war die alpine Permafrostforschung um 1990 weder lange institutionalisiert, noch verfügte sie über eine allzu gefestigte symbolisch-kulturelle Bedeutung. Es ist vor diesem Hintergrund kaum überraschend, dass Wissenschaftler*innen das Abtauen von alpinen Permafrostböden zunächst wahrnahmen, indem sie es mit klassischem Gletscherwissen assoziierten. Weil das Abtauen der Permafrostböden erst auffiel, als es schon in vollem Gange war, barg seine Rekonstruktion immer etwas Hypothetisches. Umso aufschlussreicher war es, das schleichende Verblässen an Einmalereignissen festzumachen und mit einsehbaren Naturphänomenen zu verbinden. Das hiess aber nicht, dass der Untergrund ein reiner Nebenschauplatz dieser Forschung war. Tatsächlich erwies es sich als überaus produktiv, in der Murgangstudie auch den Faktor Permafrost zu untersuchen. Damit berücksichtigten die Experten ein viel grösseres geografisches Gebiet, was wiederum in eindruckliche statistische Aussagen mündete: Wie das Abschlusspapier vermerkte, waren im Sommer ca. 50% der ausgelösten Murgänge unmittelbar an der Grenze zu vereistem Gelände abgebrochen, also an Hängen, die wenige Jahrzehnte zuvor noch gefroren oder vergletschert gewesen waren.¹²⁸

¹²⁶ Vgl. Haeberli 1992.

¹²⁷ Hupfer 2019, S. 12, 176–182.

¹²⁸ Bundesamt für Wasserwirtschaft und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1991a, S. 77.

Ausgehend von der Geschichte der Gletscher- und Permafrostforschung im Alpenraum kann man an dieser Stelle noch eine zweite Beobachtung anstellen: Die Wahrnehmung von Klima- und Umweltveränderungen ist an einen sozialen und institutionellen Rahmen gebunden. Das galt schon für die Meteorologie und Klimatologie im jungen Bundesstaat, es zeigte sich aber auch in der Permafrostforschung um 1990. Die Aufmerksamkeitsverschiebung vom *Auftauchen* zum *Abtauen* war von Institutionalisierungs- und Vergesellschaftungsprozessen begleitet. Nach dem Unwettersommer wurde die Permafrostforschung ins Aufarbeitungsprogramm einer Bundesbehörde integriert, wenn auch zunächst nur am Rand. Im nächsten Abschnitt wird sich zeigen, dass dies nur den Anstoss für eine umfangreichere Restrukturierung gab.

Die Klimakatastrophe und ihre Rezeptionsschwierigkeiten

Die Aktivitäten im Periglazialgürtel machten sich nicht nur in einer glaziologischen Fachdebatte bemerkbar, sie verschoben nach und nach auch die Einordnung des Unwettersommers. Die Gletscher- und Permafrostforschung war keine neutrale Aufklärungsinstanz, die die «wahren» Ursachen des Unwettersommers zu Tage förderte. Genauso wie die Untersuchung der Murgangstudie durch einen politischen Konflikt motiviert war, bewegten sich auch ihre Ergebnisse in einer Aushandlungszone. Katastrophenszenarien wird bisweilen eine offenbarende, ja fast aufklärerische Funktion zugeschrieben.¹²⁹ Was verborgen war und nun offen liegt, kann im Nachhinein aber zu einer problematischen Frage mutieren. Im Fall des Unwettersommers provozierte sie einige irritationsreiche Antworten.

Im Herbst nach den Unwettern war vielerorts von einer «Umweltkatastrophe» die Rede gewesen. Dabei standen die Grenzen von technischer Kultur und Natur zur Disposition – in zahllosen Fällen waren sie buchstäblich eingerissen, überflutet oder verschüttet worden. Der Geograf Werner Bätzing sprach 1988 in der *Wechselwirkung*, einer linksgerichteten politischen Wissenschaftszeitschrift, von einer «fast unentwirrbare[n] Vielfalt von natürlichen und kulturellen Einzelfaktoren», die die Unwetter in den Alpen verursacht hatten.¹³⁰ Solche Argumente waren in den 1980er Jahren etabliert. Der Soziologe Ulrich Beck schrieb im Mai 1986, einen Monat nach der Havarie in Tschernobyl, «[a]us gegebenem Anlass» ein zweites Vorwort der *Risikogesellschaft* und erklärte konsterniert: «Diese Erfahrung, an der unsere bisherige Lebensform einen Augenblick lang zerschellte, spiegelt das Ausgeliefertsein des Weltindustriesystems an die industriell integrierte und verseuchte

¹²⁹ Das hat die Literaturwissenschaftlerin Eva Horn analysiert. Horn 2014, S. 20–29.

¹³⁰ Bätzing 1988, S. 33. Zur Geschichte der *Wechselwirkung*, siehe Güttler, Pratschke und Stadler 2016; Stadler u. a. 2020, S. I/1–I/24.

'Natur' wider. Die Gegenüberstellung von Natur und Gesellschaft ist eine Konstruktion des 19. Jahrhunderts, die dem Doppelzweck diene, die Natur zu beherrschen und zu ignorieren.»¹³¹ Ob Beck sich mit dem Unwettersommer beschäftigte, weiss ich nicht. Die Rede-weise von einer erodierten Grenze zwischen Natur und Gesellschaft liess sich aber problemlos auf den Alpenraum übertragen. Wie etwa Werner Bätzing beobachtete, schienen auch dort die Sphären zu kollabieren: diejenige des Tourismus, des Transitverkehrs und der Industrie auf der einen und diejenige der Wälder, Gewässer und Gesteinsmassen auf der anderen Seite.

Vier Jahre später sah es für einen Moment anders aus. Im Mai 1991 veröffentlichte das BWW die Ergebnisse der Ursachenanalyse. Die kondensierte Schlussfassung begann mit Behauptungen und Antworten zu den Unwetterereignissen. Die Thesen waren pointiert formuliert und allesamt mit einem Ausrufezeichen versehen: «Ein Ereignis wie 1987 gab es noch nie!», «Saurer Regen beeinflusst Bodenbildung und Infiltration!». Die Antworten fielen wiederum verneinend oder vage aus. Entweder waren die Thesen schlicht «Nicht zutreffend», oder sie provozierten Formulierungen à la «Nicht direkt beantwortbar» oder «Der Nachweis lässt sich (noch?) nicht erbringen».¹³² So war der Unwettersommer im Mai 1991 bemerkenswerterweise keine Umweltkatastrophe mehr, zumindest nicht im Sinn der 1980er Jahre. In der Tagespresse machten im Frühsommer 1991 solche Schlagzeilen den Grundtenor aus: «Katastrophen mit natürlicher Ursache»,¹³³ oder «Freispruch für den Menschen».¹³⁴ Warum galten die Katastrophen, zumindest für kurze Zeit, in vielerlei Augen wieder als «natürlich» und «der Mensch» als machtlos, aber immerhin unschuldig? Nach 1987 waren die ökologischen Reflexionskapazitäten in den bundesstaatlichen Behörden und bei den privaten Dienstleistern gross – zumindest so gross, dass die Expert*innen die ursprünglich ins Feld geführten Umweltanliegen als weitestgehend sachfremd einstufen konnten. Problemherde wie das Waldsterben oder der Massentourismus wollten nicht überzeugend fangen. Dabei spielte auch die Murgangstudie eine Rolle: Ausgerechnet die Tatsache, dass die meisten Schlammlawinen oberhalb der Baumgrenze ausgelöst worden waren, diente als Beleg für die natürlichen Ursachen. Den Zusammenhang von Unwetterkatastrophen und Klimaveränderungen deklarierte das BWW wiederum als «Zusatzfrage».¹³⁵ Damit wurde das Klimaproblem eher aufgeschoben als beantwortet.

¹³¹ Beck 1986, S. 9. Ein Jahr zuvor schrieb Donna Haraway in *A Cyborg Manifesto*: «Nature and culture are re-worked; the one can no longer be the resource for appropriation or incorporation by the other.» Haraway 1991, S. 151.

¹³² Bundesamt für Wasserwirtschaft und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, «Hochwasserereignisse 1987; Ursachenanalyse. Schlussbericht», 10.05.1991, BAR E3363A#2009/242#2826, S. 7–8.

¹³³ o. A., «Eine offizielle Analyse über die Entstehung und Wirkung der Hochwasser im Sommer 1987: Katastrophen mit natürlicher Ursache», 30.05.1991, DB, S. 17.

¹³⁴ o. A., «Schlussbericht über die Ursachenanalyse der Hochwasser 1987: Freispruch für den Menschen», 30.05.1991, BT, S. 6.

¹³⁵ Bundesamt für Wasserwirtschaft und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 1991b, S. 12.

Ulrich Beck hatte ein Jahr vor dem Unwettersommer von einer Gesellschaft geschrieben, die durch ihren Umgang mit schwer kontrollierbaren, ubiquitären Risiken strukturiert sei. In den versehrten Alpen bewahrheitete sich das nur eingeschränkt: Gesellschaftliche Strukturbildung provozierten in der sogenannten Risikogesellschaft nicht unbedingt die Risiken, für die ein hohes kollektives Bewusstsein bestand, sondern vielmehr jene Gefahren, die von diesem Risikobewusstsein kaum oder gar nicht abgebildet wurden.¹³⁶ 1991 galt die Umweltkatastrophe als mehr oder weniger entkräftigt. Das Bearbeitungs- und Rezeptionsvermögen einer Klimakatastrophe war aber noch nicht sonderlich hoch. So erodierten die Grenzen von Gesellschaft und Umwelt im Katastrophensommer nicht einfach oder wurden obsolet. Als diese Grenzen für einen Moment kontingent wurden, aktualisierten sie sich als Gegenstand gesellschaftlicher Ausdifferenzierung. Diesen Blick auf ökologische Gefahren formulierte Becks Zeitgenosse Niklas Luhmann, ebenfalls im Jahr 1986. Über das Verhältnis von Gesellschaftssystem und Umwelt sagte er: «Die Differenz ist nicht nur Trenninstrument, sondern auch und vor allem Reflexionsinstrument des Systems».¹³⁷

Im Fall der Ursachenanalyse folgte aus dieser Reflexion die schnelle Mobilisierung von Forschungsgeldern. Was bisher diffus geblieben war, sollte nun umso intensiver untersucht werden. Dafür musste ein geeignetes institutionelles Gefäss geschaffen werden. Bereits im Juni 1990, noch ein Jahr vor Abschluss der laufenden Untersuchungen, verabschiedete der Bundesrat das *Nationale Forschungsprogramm* (NFP) 31 mit dem Titel «Klimaveränderungen und Naturkatastrophen».¹³⁸ Dort sollte Grundlagenforschung zur Klimaentwicklung im Alpenraum entstehen, die bei der Aufarbeitung des Unwettersommers vermisst worden war. Zwischen der Ursachenanalyse und dem NFP 31 gab es deshalb einige personelle Kontinuitäten. Das neue Forschungsprogramm fungierte als inoffizielles Forschungsprogramm,¹³⁹ wenn auch in einer anderen Grössenordnung: Mit einem Budget von 20 Millionen Franken wurde das NFP 31 zum teuersten Nationalen Forschungsprogramm der Schweizer Geschichte.¹⁴⁰ Während die Verteilung dieser Gelder naturgemäss Konflikte schürte,¹⁴¹ wirkt die Teilnahme der Gletscher- und

¹³⁶ Ulrich Beck argumentierte so nicht, man erfährt davon aber sowohl beim Reaktorunglück in Tschernobyl als auch in der sozialwissenschaftlichen Beck-Kritik. Vgl. Gugerli 2014.

¹³⁷ Luhmann 1986, S. 24.

¹³⁸ Schweizerischer Bundesrat, «Beschluss: Sixième série des Programmes nationaux de recherche. Sélection des thèmes», 27.06.1990, BAR E3370C#2001/119#1*.

¹³⁹ Das sah zumindest das BWW so, als es Armin Petrascheck, Projektleiter der Ursachenanalyse, an das *Bundesamt für Bildung* zu vermitteln versuchte. Siehe Götz, «Nationales Forschungsprogramm Nr. 31 Verhütung von Naturkatastrophen unter besonderer Berücksichtigung von Klimaveränderungen», Brief an Bundesamt für Bildung und Wissenschaft, 11.09.1990, BAR E3370C#2001/119#6*.

¹⁴⁰ Glogger 1998, S. 1–2.

¹⁴¹ Siehe etwa Gutermann, «Klimageschichte Europas, Brief vom 20.11.91», Brief an Christian Pfister, 20.11.1991, BAR E3371A#2002/64#901*; Hsü, Brief an Heinrich Ursprung, 06.02.1992, BAR E3371A#2002/64#901*; Schweizerischer Nationalfonds, Abteilung Nationale Forschungsprogramme, «Aktennotiz betr. Vorwürfe von Herrn Prof. K. Hsü an das NFP 31 «Klimaänderungen und Naturkatastrophen», 27.02.1992, BAR E3371A#2002/64#901*.

Permafrostforschung am NFP 31 nie umstritten. Das ist wenig überraschend: Nach der Aufarbeitung des Unwettersommers positionierte sich kaum ein anderes Forschungsgebiet derart überzeugend an der Schnittstelle von alpiner Klima- und Katastrophenforschung.¹⁴²

Die Permafrostforschung avancierte also zu einem Fachgebiet von nationalem Interesse. Dabei veränderte sie sich selbst massgeblich. Permafrostforschung gewann an gesellschaftlicher Aufmerksamkeit und integrierte sich in bundesbehördliche Strukturen. Dabei sollte sich auch ihr Blick auf den Unwettersommer immer mehr durchsetzen: Nach einigen Jahren rückten die Katastrophen in der kollektiven Wahrnehmung tatsächlich in einen Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel. Der Weg dorthin zeigt: Ökologische Probleme sind, mit Luhmann betrachtet, immer auch Kommunikationsprobleme.¹⁴³ Wie die Rezeption der Ursachenanalyse belegt, war die Klimakatastrophe um 1990 noch eine voraussetzungsreiche Kategorie und liess Raum für Missverständnisse.¹⁴⁴ Klimawissen musste nicht nur generiert, sondern auch *kommuniziert* werden. Ein wichtiger Beitrag der Permafrostforschung bei dieser Arbeit waren: neue Bilder.

Computersimulationen

Das Gletscherschmelzen in den Alpen prägt eine wiedererkennbares Bildgenre: Vergleichsfotografien, aufgenommen am selben Ort im Abstand von Jahren oder Jahrzehnten, dokumentieren am Aletsch- genauso wie am Rhone- und Grindelwaldgletscher den Rückzug des Eises aus der Talebene. Die Parallelfotos beschleunigen den Gletscherschwund medientechnisch und stehen wie kaum etwas anderes für den Klimawandel in den Alpen.¹⁴⁵

Nun lässt sich das Abtauen von Permafrostböden nicht fotografisch belegen. Man kann es aber umso besser simulieren. Anfangs der 1990er Jahre produzierten Wissenschaftler*innen computergenerierte Bilder, auf denen farbige Permafrostflächen auftauchten. Eine der Computersimulationen schaffte es 1992 in eine Fernsehreportage des *Schweizer Fernsehens* (SF). Inhalt des Beitrags waren die Folgen der Erderwärmung in den Schweizer

¹⁴² Pierre Kunz, Mitglied der Programmleitung des NFP 31, lobte später, die Permafrostforschung fungiere im Programmrahmen wie eine Konjunktion: «D'après le titre du PNR 31: 'Changements climatiques et Catastrophes naturelles', on pourrait affirmer que ce groupe d'étude du **Permafrost** est positionné exactement sur le 'et' de ce titre!» Haerberli u. a. 1996, S. 6. Hervorh. im Original.

¹⁴³ «Es mögen Fische sterben oder Menschen, das Baden in Seen oder Flüssen mag Krankheiten erzeugen, es mag kein Öl mehr aus den Pumpen kommen und die Durchschnittstemperaturen mögen sinken oder steigen: solange darüber nicht kommuniziert wird, hat dies keine gesellschaftlichen Auswirkungen.» Luhmann 1986, S. 63.

¹⁴⁴ Erst 1983 hatte der Astronom und Sachbuchautor Carl Sagan den Begriff der «Klimakatastrophe» geprägt – aber nicht, um vor einem langsam fortschreitenden Erwärmung, sondern um vor einem schlagartigen Kälteeinbruch zu warnen. Zur Imagination des nuklearen Winters als Klimakatastrophe siehe Horn 2014, S. 149–164.

¹⁴⁵ Auch diese Wiederholungsfotografien haben eine Geschichte. Siehe Inkpen 2023.

Alpen – also genau der Forschungsgegenstand des gerade angelaufenen NFP 31. Mehr als ein Drittel der Sendezeit widmete das SF dem Thema Permafrost. Nach einer Rückschau auf das verwüstete Poschiavo im Sommer 1987 und einen gewaltigen Bergsturz in Randa im Jahr 1991 wanderte die Kamera auf den Schafberg oberhalb von Pontresina im Oberengadin, wo die VAW den Permafrost an Bohrlöchern überwachte. Auf dem verschneiten Hang notierten zwei Wissenschaftler*innen neue Messergebnisse. Wofür sie diese Daten benötigten, erklärte der Moderator per Voice Over:

Mit den gesammelten Daten konnten die ETH-Glaziologen ein Computermodell konstruieren, das die Permafrostverteilung am ganzen Schafberg rekonstruiert. Hier wird deutlich, wie stark die Alpengipfel durchgefroren sind. Blau bezeichnet Stellen, wo der Boden mit Sicherheit das ganze Jahr hindurch ver-eist ist. In den roten Regionen ist Permafrost wahrscheinlich.¹⁴⁶

Zu diesen Worten rotierte auf dem Fernseher ein virtueller Schafberg, untermalt von sphärischer elektronischer Musik (Abb. 11).

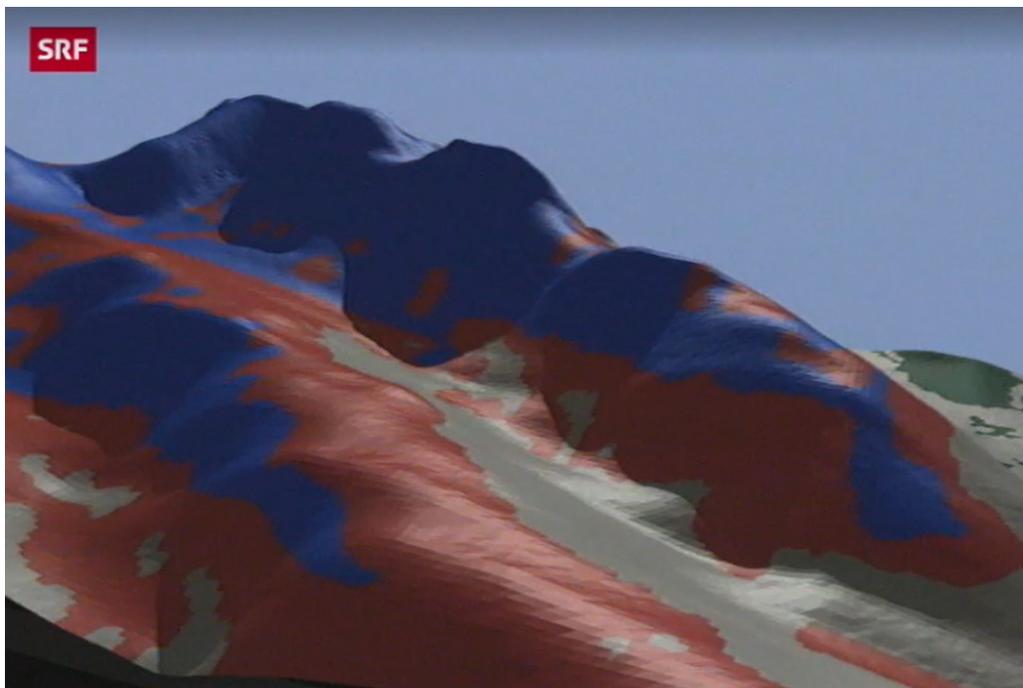


Abb. 11: Permafrostsimulation im Schweizer Fernsehen (Quelle: o. A. 1992, Abschn. 18:15.)

Das dreidimensionale Bergmassiv mit glatter Oberfläche und Schattenwurf sprach für sich, ohne erklärende Elemente wie eine Skala oder eine Legende. In etwas grob gerasterten Farbflächen tauchte die aktuelle Permafrostverbreitung am Schafberg auf. Diese Bestandsaufnahme ergänzte noch eine zweite Animation mit einem Zeitverlauf. Sie visualisierte den Anstieg der Permafrostgrenze zwischen 1850 und 2050. Die Farbfläche, die zunächst auf dem Schafberg ruhte, schrumpfte innerhalb weniger Sekunden zusammen. Im simulierten Zeitverlauf von 200 Jahren steige die Permafrostgrenze um bis zu 200 Meter

¹⁴⁶ o. A. 1992, Abschn. 17:40-18:07.

an, erklärte der Moderator. Was das bedeutete, hatte die Sendung ihrem Publikum schon klargemacht, mit den Videoaufnahmen aus Poschiavo und Randa. In Pontresina war die Situation ebenfalls heikel, weil am Schafberg einige instabile Lawinenschutzverbauungen lagen, die im Lauf der 1990er Jahre aufwendig untersucht und erneuert wurden.¹⁴⁷

Die zwei Wissenschaftler*innen, die im Fernsehen mit ihren Messgeräten hantierten, konnten die Permafrostverbreitung eingrenzen, ja sogar rekonstruieren und prognostizieren. Voraussetzung dafür waren die Daten- und Darstellungsangebote in Geoinformationssystemen (GIS). Das sind computergestützte Systeme, die der Erfassung, Verwaltung, Analyse und Visualisierung von Raumdaten dienen. Mit dem Begriff GIS bezeichnet man die Gesamtheit von Hardware (Computer, GPS, Satellitentechnik), digitalem Kartenmaterial (Lagekoordinaten und Attributdaten), sowie Software (Verarbeitungstechniken und grafische Oberflächen).¹⁴⁸ Dass sich die Verbreitung von Gebirgspermafrost um 1990 in GIS simulieren liess, hatte mit computertechnischen Konvergenzen zu tun: mit der Verfügbarkeit von Rechenkapazitäten, Datenmaterial, Software und Userkompetenz. Insbesondere in der Schweiz konnten GIS-Anwendungen im virtuellen Gelände operieren. Das lag an einem geeigneten Dateninput, nämlich *digitalen Höhenmodellen* (DHMs). Solche DHMs, ursprünglich für Militärinteressen entwickelt, vertrieb die bundesstaatliche *Landestopographie* als reguläre Dienstleistung ab 1991.¹⁴⁹ So liessen sich Partikularanwendungen zur Permafrostsimulation programmieren. Bereits 1989 schrieb Felix Keller, später Doktorand an der VAW, die erste Version von PERMAKART, einem Programm, das die Permafrostverbreitung in einem gegebenen Einzugsgebiet abschätzt.¹⁵⁰

Im NFP 31 wurde die Simulation von Gebirgspermafrost in GIS zu einem Schwerpunktthema. Praktisch alle Schweizer Hochschulen, an denen Permafrostforschung betrieben wurde, experimentierten mit GIS-Anwendungen.¹⁵¹ Martin Hölzle, Doktorand an der VAW, schrieb ausserdem das Programm PERMAMAP, das die Permafrostverbreitung mittels der physikalisch modellierten Strahlungsbilanz berechnete.¹⁵² Davon abgesehen produzierte die technologische Innovation aber vor allem Redundanzen: An den Universitäten Lausanne und Bern entstanden mindestens zwei weitere, unabhängig voneinander

¹⁴⁷ Siehe Phillips 2000.

¹⁴⁸ Vgl. z.B. die Definition in Bill 2016, S. 8.

¹⁴⁹ Ein DHM ist ein dreidimensionales Raster, in dem jedem x,y-Gitterpunkt ein dritter Höhenwert zugewiesen ist. Unter dem Namen RIMINI entwickelte das Eidgenössische Militärdepartement bereits in den 1960er Jahre ein Geländemodell, um zum Höhepunkt des Kalten Kriegs Radarstationen zur Fliegerabwehr optimal zu positionieren. Vgl. Frey 2023. Ab 1991 stand RIMINI im Produktkatalog der Landestopographie, 1992 kam das neuere und zehnmal genauere DHM25 hinzu. Vgl. Rickenbacher 1992.

¹⁵⁰ Vgl. Keller 1992.

¹⁵¹ Die Arbeitsgruppen an der Universitäten Freiburg, Zürich, Bern, Lausanne und Genf sowie der ETH Zürich organisierten im April 1994, also ungefähr zur Halbzeit des NFP 31, einen Workshop, um die verschiedenen Anwendungen zu vergleichen. Haeberli u. a. 1996.

¹⁵² Hölzle 1996.

entwickelte Anwendungen, die nach demselben Prinzip wie PERMAKART funktionierten.¹⁵³ Warum schrieben Diplom- und Doktoratsstudierende in Zürich, Lausanne und Bern im Zeitraum von wenigen Jahren ein mehr oder weniger baugleiches Computerprogramm? Vielleicht, weil es vergleichsweise einfach war: Gebirgsspermafrost war ein überraschend dankbares Modellierungsobjekt. Wie die vor den Rechnern versammelte Forschungsgemeinschaft um 1990 unvermittelt bemerkte, verfügte sie schon seit 15 Jahren über ein *Modell*: PERMAKART basierte auf den «Faustregeln für die Abschätzung der Permafrostverbreitung», die Wilfried Haerberli in den 1970er im Flüelagebiet entwickelt hatte (vgl. Abschnitt 2.2).¹⁵⁴ Diese «Faustregeln» waren auf einem DHM vergleichsweise leicht zu implementieren – auch wenn man davon ausgehen kann, dass Software, Rechengeschwindigkeiten und grafische Auflösung die Programmierer*innen im akademischen Mittelbau regelmäßig zu Kompromisslösungen zwangen.

Medienwissenschaftler*innen erkennen in Computersimulationen gerne einen epistemischen Bruch. Claus Pias hat argumentiert, Computersimulationen zersetzten die für die wissenschaftliche Moderne konstitutive Grenze von Empirie und Theorie. Die «realen» Daten und das «theoretische» Modell liessen sich de facto nicht trennen: Einerseits lenkten die verfügbaren Datensätze oftmals die Theoriebildung; andererseits seien viele Daten selbst nicht gemessen, sondern modelliert.¹⁵⁵ Computersimulationen validierten sich deshalb in erster Linie nicht über ihre *Genauigkeit*, so Pias, sondern aufgrund ihrer *Operabilität*, das heisst: indem sie einfach funktionierten (nicht nach generellen, sondern nach situativen Massstäben). Das Simulationsparadigma versteht Pias als typischen Wissenschaftsmodus der Postmoderne, der seit der Verbreitung des Computers in der Nachkriegszeit bestehe.¹⁵⁶ Die Kennzeichen dieses Wissensmodells findet man auch in der Permafrostforschung der 1990er Jahre – etwa bei der Validierung von GIS-Anwendungen. Grundsätzlich validierten sich die unterschiedlichen Modelle (PERMAKART und PERMAMAP) schlicht gegenseitig, indem sie die Permafrostverbreitung grösstenteils kongruent simulierten. «Ein Vergleich dieser Schätzverfahren erlaubt es, Gebiete mit sichereren respektive unsichereren Aussagen auseinanderzuhalten.»¹⁵⁷ Auch wenn die Forscher*innen die Simulationen mit Messwerten konfrontierten, war ein einwandfreier Abgleich von Realität und Modell nie möglich. Besonders beliebt waren Temperaturmessungen an der Schneedecke (BTS-Messungen, siehe Abschnitt 2.2). Einerseits hatten solche Messungen die Modelle

¹⁵³ Vgl. Imhof 1996, S. 25.

¹⁵⁴ Vgl. auch Haerberli 1996.

¹⁵⁵ Diesen Punkt hat auch Paul Edwards im Kontext von Klimasimulationen unterstrichen: «In this seemingly paradoxical mirror world, data used to validate one class of models are themselves partly the product of other models. There was (and is) no real alternative.» Edwards 2000, S. 236.

¹⁵⁶ Vgl. Pias 2011.

¹⁵⁷ Haerberli u. a. 1999, S. 173.

aber ursprünglich gefüttert, andererseits bot auch eine Schneedeckentemperatur nur einen punktuellen und näherungsweise Eindruck über die «realen» Bedingungen vor Ort. Eine «beste» oder naturgetreueste Karte gab es nicht. Die Modellierungsmethoden besaßen jeweils Vor- und Nachteile und bildeten bestimmte Permafrostflächen strukturell (in-)adäquater ab als die Konkurrenz. Jedes Modell vernachlässigte bestimmte Faktoren zu Gunsten von anderen; das eine erkannte auch tiefliegende, isolierte Permafrostböden unterhalb der Waldgrenze, das andere konnte zwischen verschiedenen Hangzonen unterscheiden.¹⁵⁸

So weit, so gut. Den epistemischen Bruch, den Claus Pias mit dem Simulationsparadigma verbindet, sucht man in dieser Geschichte jedoch vergebens. Im Gegenteil: Die Simulationen funktionierten auch deshalb, weil so manches beim Alten blieb. Claus Pias sagt: «The knowledge of simulations is always furnished with a hypothetical index».¹⁵⁹ Gebirgspermafrost war aber stets ein Gegenstand mit einem hypothetischen Index gewesen. Theorie und Empirie waren schon während der geophysikalischen Methodenarbeit um 1970 kaum zu trennen gewesen. Der hypothetische Index war in diesem Sinn nicht erst im Computer, sondern schon im Gelände entstanden. Die Auftautiefe und die Verbreitung von Permafrost hatten Wissenschaftler fast nie «direkt» bestimmt (vgl. Abschnitte 2.1 und 2.2). Die adäquaten Instrumente waren nicht die genauesten gewesen, sondern diejenigen, die unter praktischen Bedingungen funktionierten. Etwas zugespitzt kann man es so formulieren: Für die Permafrostforscher*innen stellten sich in GIS alte Probleme in neuer Sprache. Auch deshalb tat sich die Forschungsgemeinschaft so leicht, aus ihrem Werkzeugkasten sofort ein implementierbares Modell zu ziehen. So wie sie selbst ihre Arbeit rückblickend beurteilten, hatten sie es schon mit Simulationsproblemen zu tun gehabt hatten, lange bevor sie Computersimulationen benutzten. «Selbst über einem nachgewiesenen Permafrostvorkommen müssen [...] nicht immer Permafrostbedingungen herrschen».¹⁶⁰

Gebirgspermafrost bestand schon seit 20 Jahren mehr aus Zusammenhängen als aus Essenz. Und er produzierte auch ohne Computergrafiken multiperspektivische Bilder, die ihre eigene Ungenauigkeit operationalisierten. Das heisst aber nicht, dass die GIS-Applikationen folgenlos geblieben wären. Die Effekte der Computersimulationen sind vor allem auf kommunikativer Ebene zu suchen. In den Karten und Animationen erlangte der Gegenstand Gebirgspermafrost eine nie dagewesene Selbstverständlichkeit. Denn in dieser Blackbox verschwanden endlich die komplizierten apparativen Bedingungen, die das Unsichtbare sichtbar gemacht hatten. Die Karten und Animationen lieferten für die

¹⁵⁸ Vgl. Keller und Hölzle 1996.

¹⁵⁹ Pias 2011, S. 52.

¹⁶⁰ Haeberli u. a. 1999, S. 51.

Gebirgspermafrostforschung endlich «ganz normale Bilder».¹⁶¹ Im Umfeld des bisweilen schwer vermittelbaren Forschungsgebiet Gebirgspermafrost (vgl. Abschnitt 2.6) sorgten Computersimulationen nicht für Irritation, sondern für Vergewisserung. Nicht ohne Ironie machte die «postmoderne Darstellungsbeliebigkeit im visuellen Datenraum» aus einem notorisch entgrenzten Phänomen ein Stück Natur mit scharfen Konturen.¹⁶² Das sieht man in beeindruckend kondensierter Form im Beitrag des SF über die Permafrostprobleme am Schafberg. Das Spiel mit dem *Auftauchen* und *Abtauen*, die ganze Geschichte dieser Arbeit, läuft dort in ein wenigen Minuten ab, nur ohne jegliche Irritation. Bevor der Permafrost am Schafberg verblasste und sein Abtauen als gesellschaftliches Problem erschien, musste dieser Gegenstand erst einmal kommunizierbar gemacht werden, am besten in isolierten Flächen und reibungsfreien Bildern.

Permafrostverbreitung in den Berner Alpen

basierend auf den topographiebezogenen Faustregeln der VAW (ETH Zürich), berechnet mit PERM auf IDRISI 4.0

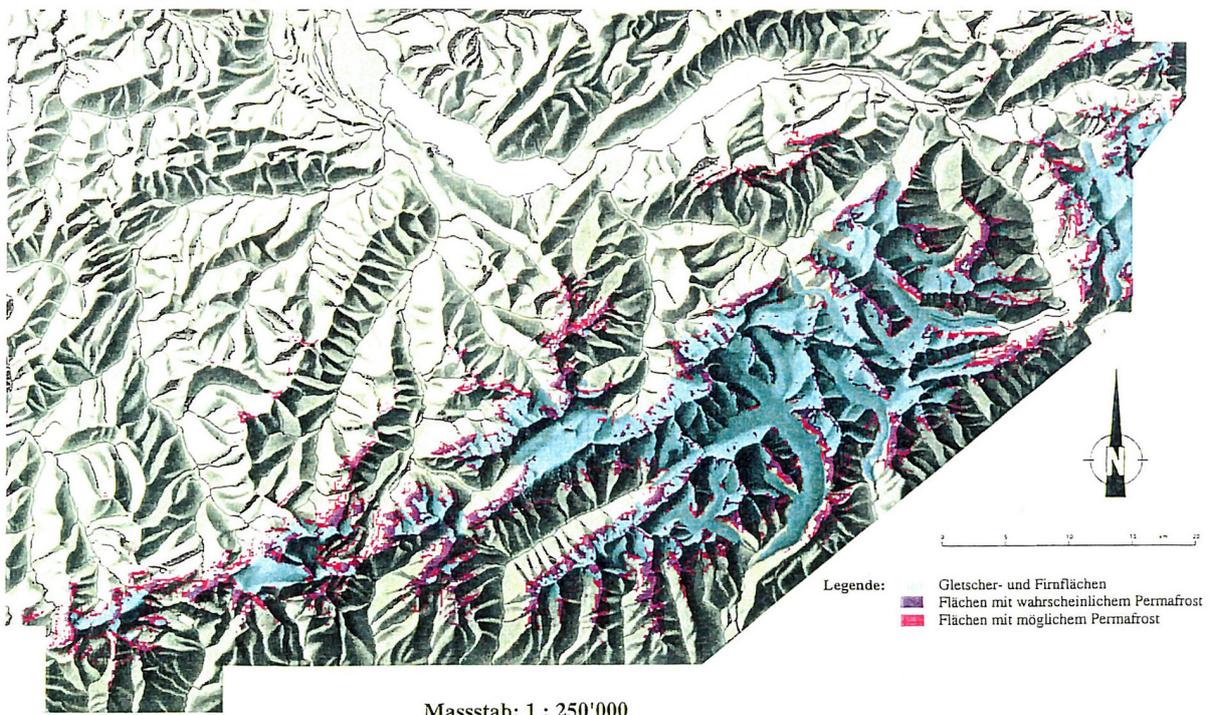


Abb. 12: Permafrostverbreitung in den Berner Alpen, simuliert mit dem Programm PERM von M. Imhof, Universität Bern. (Quelle: Imhof 1996, S. 33.)

¹⁶¹ Vgl. Gugerli und Orland 2002b.

¹⁶² In einem anderen Kontext, z.B. der medizinischen Diagnostik, war die Situation umgekehrt. Der radikale Bruch mit alten Sehgewohnheiten konnte dort grosse Unsicherheit auslösen, wie David Gugerli es bei der Entwicklung der virtuellen Endoskopie in den 1990er Jahren beobachtet. Gugerli, David 2002, S. 259.

Das Labor als Fernsehstudio

Bilder sind nichts ohne ihre Betrachter*innen. Schon in der ersten Hälfte dieser Geschichte habe ich versucht, Diagramme und Kurven nicht als Repräsentationsfolien und Realitäts-spiegel, sondern als Kommunikationsmittel und operative Objekte zu betrachten. Nun ist in dieser Hinsicht auf eine Verschiebung zu achten: Neue Bilder erschlossen nämlich neue Anwendungskontexte – und damit auch neue Gruppen von Adressat*innen.

In den 1990er Jahren offerierten Permafrostforscher*innen ihre Expertise nicht mehr nur bei der Projektierung neuer Seilbahnen und Gebäude, sondern auch für den Katastrophenschutz. Wie wir am Anfang dieses Kapitels gesehen haben, spielten sich diese Aktivitäten charakteristischerweise nicht auf Prestigebaustellen, sondern bei besorgniserregenden Sanierungen ab, so wie auf der Gipfelstation der Luftseilbahn Andermatt-Gemsstock, wo 1994 der auftauende Permafrost durch tonnenweise Betoninjektionen verkittet wurde. Im Rahmen des NFP 31 wurde an verschiedenen Orten in der Schweiz angewandte Katastrophenforschung betrieben – unter anderem im Hinblick auf Gletscher- und Permafrostschwankungen. Die Wissenschaftler*innen untersuchten einen instabilen Hängegletscher an der Eiger Nordwand, mehrere ausbruchsgefährdete Gletscher- und Periglazialseen am Grubengletscher, sowie die instabilen Lawinenverbauungen im Permafrost oberhalb der Gemeinde Pontresina, die uns bereits im letzten Abschnitt begegnet sind.¹⁶³

Wie verhielten sich solche Projekte zu dem Forschungs-Anwendungs-Komplex, wie er uns auf den Baustellen in der ersten Hälfte dieser Arbeit begegnet ist? An der Arbeit mit Bohrern und Betonmischern änderte sich eigentlich wenig. Das technische Schema von Isolation und Integration (siehe Abschnitt 2.4) galt am Gemsstock so wie knapp dreissig Jahre zuvor am Schilthorn, nur dass der Fels einmal mittels Betoneinspritzung und einmal mit schwerem Draht integriert wurde. Dennoch ist es nicht übertrieben, anfangs der 1990er Jahre so etwas wie einen Paradigmenwechsel zu markieren, wenn man sich für den historischen Umgang mit Permafrostproblemen in den Alpen interessiert. Was sich änderte, waren nicht die Baumassnahmen als solche. Es war gleich die ganze Welt, wie sie sich den Akteur*innen zeigte. Anfangs der 1990er Jahre bewegte sich nicht nur die technisierte Landschaft am Gemsstock oberhalb von Andermatt, destabilisiert hatte sich auch die Gleichförmigkeit von Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Was heute mühsam stabilisiert war, konnte morgen erneut zum Sicherheitsrisiko mutieren. Aus diesem Grund war es weder mit einem Blick in die historischen Katastrophenchroniken noch mit einer einmaligen Betoninjektion getan. Manchmal war eine systematische Beobachtung sogar die

¹⁶³ Siehe Abschlussbericht Haeblerli u. a. 1999. Martin Zimmermann, der ebenfalls die Murgänge des Sommers 1987 untersucht hatte, leitete im NFP 31 ein Projekt zur Murganganalyse in geographischen Informationssystemen. Auch dort spielten Permafrostfaktoren eine grosse Rolle. Zimmermann u. a. 1997.

primäre Massnahme: «Ist die Gefahr einmal erkannt, drängt sich manchmal eher eine gezielte Beobachtung als eine bauliche Massnahme auf.»¹⁶⁴

Was sich bei Sanierungs- und Schutzprojekten änderte, waren zudem die Kooperationspartner*innen. «Die Entwicklung von Computerprogrammen [...] hat das Wissen um das Phänomen Gebirgs-Permafrost rasch aus einem kleinen Kreis von Spezialisten hinausgetragen und breiteren, praxisorientierten Fachkreisen zugänglich gemacht», drückte es eine Abschlusspublikation des NFP 31 aus.¹⁶⁵ Die Permafrostforschung rückte immer mehr in den Aufgaben- und Finanzierungsbereich öffentlicher Behörden. Die Sondierungsarbeiten bei den oben genannten Projekten trugen Bund, Kantone und Gemeinden gemeinsam,¹⁶⁶ bei anderen Projekten, wie etwa am Gemsstock, beteiligten sich auch private Bau-träger. Bei der Ansprache eines derart erweiterten Adressat*innenkreises waren auch solche Bilder relevant, die nicht primär als *Entscheidungsgrundlage* dienten: Eine Karte der Berner Alpen im Massstab 1:250 000 (vgl. Abb. 13) dürfte bei der Planung einzelner Sanierungsarbeiten schnell an ihre operativen Grenzen gestossen sein. Solche Karten förderten aber ein breit geteiltes Problembewusstsein. Wenn eine Risikozone in grossen Flächen auf regionalen, kantonalen oder gar bundesstaatlichen Karten aufleuchtete, erhöhte das die Handlungsrelevanz auch bei jenen, die mit diesem Gegenstand bislang kaum in Berührung gekommen waren.

Eigentlich war die Rede von «breiteren, praxisorientierten Fachkreisen» sogar noch eine Untertreibung. Als nationales Forschungsprogramm sollte das NFP 31 eine Rückführung der Forschungsergebnisse in die Öffentlichkeit gewährleisten. So wurde das Programm von Anfang an intensiv journalistisch begleitet, etwa vom Wissenschaftsjournalisten Beat Glogger.¹⁶⁷ Glogger arbeitete als Redaktor (ab 1994 als Leiter) bei *Menschen Technik Wissenschaft* (MTW),¹⁶⁸ einer Sendung des SF, in der auch der im letzten Abschnitt zitierte Beitrag zur Permafrostforschung ausgestrahlt wurde. Anlass der Sendung war der zwei Wochen später startende *Earth Summit* in Rio de Janeiro: die monumentale *United Nations Conference on Environment and Development* (UNCED), bei der man unter der Formel des *sustainable development* die Fragen des globalen Umweltschutzes und der Nord-Süd-

¹⁶⁴ Haeberli u. a. 1999, S. 123.

¹⁶⁵ Haeberli u. a. 1999, S. 173.

¹⁶⁶ Vgl. Haeberli u. a. 1999, S. 127. Die Forschung an den Lawinverbauungen am Schafberg wurde von den Kantonen Wallis und Graubünden sowie vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) unterstützt. Siehe Phillips 2006, S. 377.

¹⁶⁷ 1994 wurde die informelle Kooperation zwischen dem NFP 31 und der MTW-Redaktion zu einer «konkreten Zusammenarbeit» ausgeweitet. Die förderte auch die Heranführung der Wissenschaftler*innen an den Journalismus. Die Programmdirektion organisierte zusammen mit Glogger einen Workshop im Fernsehstudio, um «das Misstrauen und die Schwellenangst der WissenschaftlerInnen gegenüber den JournalistInnen abzubauen.» Nationales Forschungsprogramm NFP 31, «info 5», 06.1994, BAR E7187A#1999/128#229*, S. 4.

¹⁶⁸ Vgl. West 1995.

Gerechtigkeit zusammenführte (oder es zumindest versuchte).¹⁶⁹ In dem MTW-Beitrag ging es nicht um kuriose akademische Nischenthemen, sondern um die Rolle der Schweiz in einem globalen Systemwechsel. All das verhandelte die Redaktion, zumindest für einen Moment, in den Permafrostböden der Alpen. Dafür bot sie mehr als Computerbilder und Katastrophenvideos. Sie präsentierte noch ein zweites Permafrostmodell, diesmal keine digitale Animation, sondern einen Versuchsaufbau in einer Art Sandkastenlaboratorium, aufgenommen in der VAW an der ETH Zürich (vgl. Abb. 13). Vor der Kamera ist ein Kieshaufen aufgebaut. «Dass auftauende Berge eine echte Gefahr sind, zeigt das Laborexperiment. Auch bei starkem Regen ist der gefrorene Hang stabil», erklärt der Moderator, während eine Giesskanne grosszügig Wasser auf dem Kies verteilt. Sonst passiert nichts. Daraufhin erscheint eine Wärmelampe anstelle der Giesskanne. «Eine grobblockige Oberflächenschicht liegt auf der feinen, mit Eis armierten Unterschicht. Taut das Eis im Untergrund auf, fällt die Armierung weg. Das stark durchfeuchtete Lockermaterial wird jetzt leicht erodiert und bietet geradezu ideale Anrissstellen für Murgänge.» Nun tritt zum zweiten Mal die Giesskanne in Aktion, diesmal mit anderem Ausgang: «Ein starkes Sommergewitter setzt die Mur in Bewegung.» Der aufgetaute, durchfeuchtete Kies rutscht schlagartig durch eine Rinne in den unteren Teil des Modellaufbaus. Dort begräbt die Masse Plastikhäuser, Spielzeugautos und eine kleine Brücke, das Wasser tritt aus der vorgeformten Rinne und überflutet die Modellebene. «Die Folgen sind verheerend.»¹⁷⁰

Es sticht ins Auge, wie plastisch, ja regelrecht naturgetreu der Arbeitsverbund aus Journalist*innen und Wissenschaftler*innen den Murgang nachbaute. Gefrorene Erde lässt sich auch jenseits des Hochgebirges herstellen. Bei dem Kieshaufen im SRF handelte es sich weniger um ein Modell als um ein *Präparat*.¹⁷¹ Mit diesem Begriff hat der Wissenschaftshistoriker Hansjörg Rheinberger «eine Kategorie von visuellen Evidenzen» bezeichnet, «die selbst als Objekte daherkommen [...]. Alle diese ‚Darstellungen‘ sind zumindest teilweise aus dem Stoff selbst gemacht, welcher Gegenstand der Analyse ist.»¹⁷² Objekt und Repräsentation fallen also in eins. Man kann es auch so formulieren: Das Präparat war auch deshalb so anschaulich, weil es Gebirgspermafrost nicht als *Substanz*, sondern als thermische *Bedingung* zeigte.¹⁷³ Diese Bedingung konnte man in einer Studiosituation manipulieren und filmen. So war der Zusammenhang von Klima, Permafrost und Katastrophe am Ende der fernsehtechnischen Medialisierung evident gemacht worden. Zusätzlich zum

¹⁶⁹ Vgl. Radkau 2011, S. 548–564.

¹⁷⁰ o. A. 1992, Abschn. 19:42–20:50.

¹⁷¹ Aller Wahrscheinlichkeit nach hatte die mit Giesskanne und Wärmelampe bearbeitete Masse nicht zwei Jahre lang in der Gefriertruhe gelegen. Per Definition handelte es sich deshalb streng genommen nicht um «Permafrost». Für den Verlauf des Experiments spielte das keine Rolle.

¹⁷² Rheinberger 2001, S. 58–59.

¹⁷³ Die Dialektik von *Substanz* und *Bedingung* ist das zentrale Motiv von Pey-Yi Chus Geschichte der Permafrostforschung in Russland und der UdSSR. Chu 2020.

Sandhaufen wurde er noch in einer technischen Metapher gebündelt: Nach jahrzehntelanger Technikberatung, nach dem Einschnüren und Verkitten von zahlreichen Gipfelmassiven, fungierte Permafrost nun als natürliche «Armierung», die erst dann auffiel, wenn sie verschwand, mit dann aber umso gewaltvolleren Folgen. Als das Labor zum Fernsehstudio wurde, präsentierte es Gebirgspermafrost nicht mehr als rätselhaftes Umweltphänomen. Stattdessen vereinfachte dieser Gegenstand nun andere Phänomene und Prozesse. Zu dieser Entwicklung trugen digitale Karten, aber auch ein analoges Präparat bei, dass das SF später wiederverwertete.¹⁷⁴



Abb. 13: Präparierter Murgang im Schweizer Fernsehen (Quelle: o. A. 1992, Abschn. 20:40.)

Die Anschlussfähigkeit des Verborgenen

Anfangs der 1990er Jahre ordneten solche Wahrnehmungsmuster die Welt neu. Die Berner Tageszeitung *Der Bund* schrieb bereits im Mai 1991:

Die Schuttmengen, die [...] 1987 das Dorf Münster [...] verwüsteten, stammten zu einem grossen Teil aus einem Gebiet, das noch 1850 mit Eis bedeckt war. [...] [D]ie grösste Umweltbedrohung kommt nicht in wässriger, sondern in flüchtiger Gestalt. Es sind die Gase, die aus Schornsteinen strömen, von Automotoren und Flugzeugtriebwerken ausgestossen werden, aus Reisfeldern und Rindermägen entweichen [...].¹⁷⁵

Vier Jahre zuvor waren regionale Umweltprobleme wie kanalisierte Bergbäche, Bodenversiegelung und Waldsterben für den Unwettersommer verantwortlich gemacht worden.

¹⁷⁴ Vgl. Bucher 1994, Abschn. 17:55-18:15.

¹⁷⁵ Frank 1991.

Nun erschienen andere Substanzen: Im Periglazialgürtel materialisierte sich eine Assoziation von Katastrophe und Klima, von Murgängen, Flugzeugtriebwerken und Reisfeldern. Gletscher und Permafrost verkörperten eine Beziehung von Alpen und Planet. Dass der Unwettersommer schliesslich zur Klimakatastrophe wurde, bedeutete eine drastische Massstabsverschiebung. Problematisch war nun nicht die Landnutzung im Alpenraum, sondern eine Erwärmung der Erdatmosphäre seit Beginn der Industrialisierung. In der kulturwissenschaftlichen Anthropozändebatte fällt kaum ein Begriff so oft wie derjenige der Skala oder der Skalierung.¹⁷⁶ Die Rede von Skalierungen ist dort attraktiv, weil sie Irritation schafft. Das Grunddilemma lautet in etwa: Wie lassen sich Menschen gleichzeitig als geophysikalische Kraft und politische Subjekte begreifen?¹⁷⁷ Im Labor der VAW findet man keine Antworten auf diese Universalfrage. Was man stattdessen findet, ist ein geografisch wie historisch spezifisches Deutungsangebot.¹⁷⁸ Das Auftauen von Gletschern und Permafrost im Hochgebirge rückte den Unwettersommer in den Kontext eines ökologischen Systemwechsels, nicht von regionalem, sondern von planetarischem Ausmass, nicht in der Grössenordnung von Jahrzehnten, sondern Jahrhunderten.

Tatsächlich generierten das NFP 31 und insbesondere die daran beteiligte Permafrostforschung ein dezidiert *territoriales* Klimawissen. Auch die MTW-Redaktion beleuchtete in ihrem Beitrag zum *Earth Summit* den Klimawandel aus einer dezidiert Schweizer Perspektive. Die bedeutsame Symbolik ihres Sujets «Permafrosts» machte sie dabei explizit. Begleitet von einer Kamerafahrt über verschneite Alpengipfel hiess es: «Das Alpenpanorama: Symbol für die Schweiz. Symbol für Sicherheit und Stabilität im Herzen Europas.» Dem Phantom Permafrost rollte diese symbolische Identität von Alpen, Schweiz und Stabilität nur den roten Teppich aus: «Und dann: Unvorhergesehenes geschieht. Die Idylle bröckelt.» Auf das idyllische Alpenpanorama folgte erst ein rabiater Schnitt und dann ein Video des Bergsturzes von Randa, bei dem 1991 mehrere Millionen Kubikmeter Geröll abgerissen waren und einen Weiler unter sich begraben hatten.¹⁷⁹

Dass es sich bei Permafrost so lange um etwas Verborgenes gehandelt hatte, spielte seiner metaphorischen Aufladung also plötzlich in die Hände. Unsichtbares generiert dann eine hohe kommunikative Anschlussfähigkeit, wenn man mit unangenehmen Überraschungen und brutalen Verschiebungen umgehen muss – also insbesondere dann, wenn verdrängte Handlungsfolgen ins kollektive Bewusstsein integriert werden sollen. In der Fernsehsendung von 1992 wird das Motiv des *Unheimlichen* so explizit wie nie zuvor in

¹⁷⁶ Wegweisend: Chakrabarty 2009. Aus geschichtswissenschaftlicher Sicht vgl. auch Thomas 2014; Güttler 2019; Westermann 2020; Bonneuil 2020.

¹⁷⁷ Vgl. v.a. Chakrabarty 2022.

¹⁷⁸ Eine «history of scaling» hat die Wissenschaftshistorikerin Deborah Coen gefordert. Coen 2016, S. 309.

¹⁷⁹ o. A. 1992, Abschn. 1:00-2:15.

dieser Geschichte. Der Gegenschnitt von Alpenpanorama und Bergsturz verhandelte die paradoxe Verbindung von Vertrautem und Verdrängten, von Alltäglichem und Grauensvollem. Es ging dabei um mehr als um Ökologie. Das wird augenscheinlich, wenn man die MTW-Ausgabe bis zu ihrem Anfang zurückspult, an dem von Permafrost noch keine Rede ist. Die Sendung anlässlich des *Earth Summits* beginnt mit einem globalen Überblick über aktuelle Katastrophenszenarien:

Im amerikanischen Weizengürtel verdorren die Felder. Den Leuten im Sahel bleibt in der Dürre gar nichts mehr. Holland schützt sich gegen den steigenden Meeresspiegel mit Deichen. Sie kosten Unsummen von Gulden. Millionen von Bangladeschi bleibt nur die Flucht. Wir leben in den Alpen fernab von Dürren und steigenden Meeren. Was kommt auf uns zu?¹⁸⁰

Während sich der erzählerische Bogen den Weg von den US-Amerikanischen Südstaaten über Bangladesch bis in die Alpen bahnt, zieht eine Auswahl von Schauspieler*innen vorüber, ausgestattet mit überzeichneten, ethnifizierten Gewändern und begleitet von Fiddle, Sitar und Jodelgesang. Am Ende der Aufzählung grinst eine «Schweizer» Kleinfamilie in Wanderkleidung in die Kamera.

In den Bildern der einstürzenden Alpen zeichneten sich die regionalen Auswüchse einer globalen Gefahrensituation ab. «Wie sieht die Schweiz im Treibhaus aus?» schrieb Beat Glogger, journalistischer Begleiter des NFP 31, im Jahr 1992 programmatisch.¹⁸¹ Diese Frage kann man in einen politischen Kontext rücken: Die beschleunigte Globalisierung anfangs der 1990er Jahre forderte das Schweizer Selbstverständnis empfindlich heraus. Integrationsversuche und Isolationsfantasien kochten zu einer volatilen Gemengelage hoch, insbesondere im Jahr 1992: Zuerst erregte der Slogan *La Suisse n'existe pas* von der Weltausstellung in Sevilla die Schweizer Gemüter, dann scheiterte im Dezember das EWR-Referendum überraschend an der Urne.¹⁸² In dieser Situation bot die Klimakatastrophe einen weiteren Anlass zur nationalen Selbstspiegelung. Am deutlichsten zeigte sich die Verketzung von Schweiz, Alpen, Globus und Klima in einem Kontext fern der Berge. Im Dezember 1994 hielt der Publizist Köbi Gantenbein eine Vorlesung an der Fachhochschule Köln. Drei Tage, nachdem die Schweizer Wahlberechtigten die Volksinitiative für ein verschärftes Gesetz gegen Ausländer*innen angenommen hatten, versuchte der Herausgeber einer Architekturzeitschrift sich an einer Einordnung der Geschehnisse. Gemeinsam mit den deutschen Designstudierenden blickte Gantenbein dafür auf den auftauenden Permafrost in den Alpen – genau genommen blickte er auf die Bergstation am Gemsstock, bei der dieses Kapitel begonnen hat. Der mit Beton versetzte Permafrost symbolisierte in den Augen des Schweizer Publizisten eine politische Lage, in der nationale Grenzen gleichzeitig

¹⁸⁰ o. A. 1992, Abschn. 1:00-2:15.

¹⁸¹ Glogger 1992, S. 14.

¹⁸² Siehe etwa Tanner 2015, S. 491-507.

erodierten und vehement verteidigt wurden. «Man muss sich das vorstellen: Die Schweizer Berge zerfallen!» (siehe Abb. 14).¹⁸³

Das Nachdenken über die Klimakatastrophe mobilisiert nicht nur die Kategorie des Planeten; es ordnet auch den Globus. Zum Beispiel macht die Klimakatastrophe Ungleichheit artikulierbar (oder blendet sie aus): Die Folgen der Erderwärmung betreffen nicht nur unterschiedliche Teile der Welt in unterschiedlichem Ausmass, die Differenzen verlaufen oft entlang jahrhundertealter Machtgefälle und sie prägen nicht zuletzt die Repräsentationspolitik der Klimakrise.¹⁸⁴ In der Schweizer Diskussion der 1990er Jahre blieben eine Nord-Süd-Asymmetrie oder die unterschiedlichen Sprechpositionen in «Industrie-» und «Entwicklungsländern» nicht unerwähnt;¹⁸⁵ im Vordergrund stand aber eindeutig die nationale Introspektion. Dass dabei gerade die Alpen als vermittelnde Instanz fungierten, ist aus historischer Sicht fast schon zu erwarten.¹⁸⁶

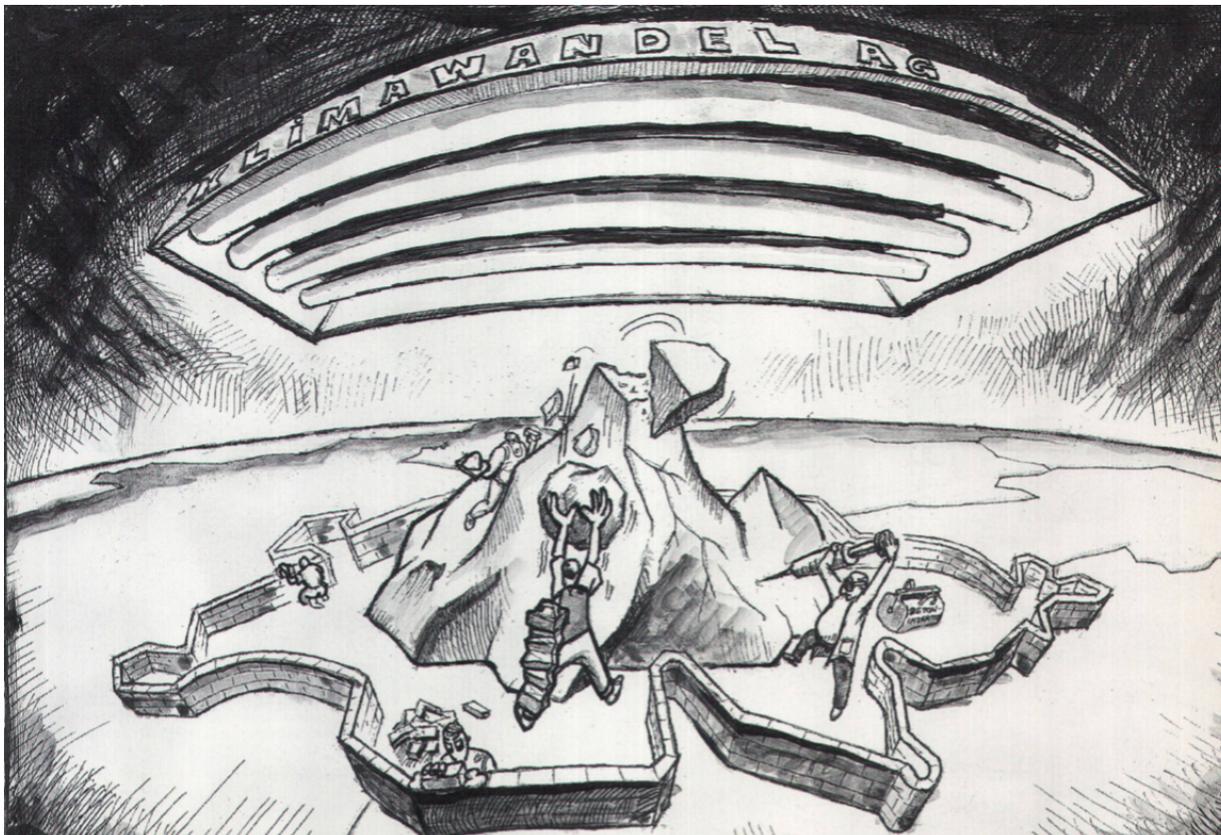


Abb. 14: Illustration in der Architekturzeitschrift Hochparterre, in der Köbi Gartenbein seine Rede aus Köln veröffentlichte. (Quelle Gartenbein 1995, S. 15.)

Das Verhältnis von Schweiz, Globus und Planet bleibt auf Grundlage meiner Quellen un-
terbestimmt. Zum eigentlichen Untersuchungsobjekt dieser Geschichte – dem Permafrost

¹⁸³ Gartenbein 1995, S. 15.

¹⁸⁴ Siehe etwa Chakrabarty 2022, S. 165–172; Schneider 2023, S. 196–203.

¹⁸⁵ Glogger 1992, S. 28–31.

¹⁸⁶ Die Alpen sind in den letzten Jahren vermehrt zu einem globalhistorischen Untersuchungsgegenstand geworden. Siehe exemplarisch Mathieu 2010; Schär 2015; Purtschert 2019.

in den Hochalpen – will ich aber drei abschliessende Beobachtungen anstellen: Erstens hatte die Gebirgspermafrostforschung in den 1990er Jahren nicht nur Ingenieur*innen und Baufirmen etwas anzubieten – gelegentlich erklärte sie die Rolle der Schweiz auf einem Planeten im Ausnahmezustand. Die Computeranimationen, Präparate und Metaphern drängten sich nicht trotz, sondern wegen der Flüchtigkeit dieses Forschungsobjekts auf. Für einen Gegenstand, der in visueller Hinsicht lange so prekär gewesen war, war das ein beeindruckender Aufstieg. Zweitens ist zu berücksichtigen, dass diese Sichtbarkeit situativ blieb. So medienwirksam das Phänomen Permafrost in einem Moment auftauchte, so gründlich konnte es aus der Berichterstattung wieder verschwinden. Die Medienberichte, die ich auf den letzten Seiten konsultiert habe, sind zweifellos als Momentaufnahmen zu verstehen. Das hat sich bis heute nicht geändert. Permafrost bleibt ein Thema der kurzen Aufmerksamkeitsschübe – seine strukturelle Ausblendung macht das nur umso funktionaler. Und drittens will ich betonen: Die eben beschriebene Verknüpfung von Klima, Katastrophe und Alpen war weder inadäquat noch alternativlos. Die Katastrophenlage hat sich in den Schweizer Alpentälern seit den 1990er Jahren noch verschärft. Universelle Betroffenheit und globale Asymmetrie stehen aber nach wie vor unter Spannung. Dabei spielt eine Rolle, was in dieser Geschichte mehr oder weniger unerwähnt blieb: Berge, und insbesondere Gebirgspermafrost, gibt es nicht nur in der Schweiz. Forschungsaktivitäten in China, Kanada oder Japan gehen lange zurück,¹⁸⁷ und in den 1990er Jahren entwickelte sich die Gebirgspermafrostforschung zu einem international vernetzten Feld.¹⁸⁸ Ein gewisses Ungleichgewicht besteht jedoch tatsächlich. Zu Beginn dieser Geschichte befanden sich die Alpen in einem marginalen Verhältnis zur besser erforschten Arktis. Heute gelten vor allem die Gebirgsregionen ausserhalb Europas als untererforscht: «Data on mountain permafrost are often sparse and biased to areas with existing infrastructure, because access and measurements on most mountain slopes are difficult and expensive. This is especially true for mountain areas outside Europe».¹⁸⁹ Für die Modellierung und Beobachtung von Permafrost ist das ein Problem: Das Phänomen Gebirgspermafrost ist, zumindest bis zu einem gewissen Grad, nach dem Vorbild der Alpen geformt.

Zusammenfassung

Um 1990 geriet die Gebirgspermafrostforschung in den Wirkungskreis einer Klimadebatte, die die neben Wissenschaftler*innen auch Politiker*innen und eine mediale Öffentlichkeit

¹⁸⁷ Siehe exemplarisch Higuchi und Fujii 1971; Harris und Brown 1978.

¹⁸⁸ Die Mountain Permafrost Working Group wurde 1988 auf der ICOP in Trondheim ins Leben gerufen. 1991 traf sich die Gruppe erstmals zu einer eigenen Konferenz in Interlaken. Vgl. Haeberli und Lautridou 1992.

¹⁸⁹ Haeberli und Gruber 2009, S. 43.

beschäftigte. Damit änderten sich neben den Aufgaben von Permafrostforscher*innen auch ihre Beobachtungstechniken – und ihr Forschungsobjekt. Zu den technischen Skizzen und Diagrammen kamen Temperaturkurven, Computeranimationen, grossflächige Verbreitungskarten und fernsehfähige Permafrostpräparate. Diese Darstellungen machten evident, wie grossflächig und unter was für desaströsen Konsequenzen sich der Permafrost in den Alpen zurückzog. Das Aufmerksamkeitsmuster des *Abtauens* strukturiert bis heute, wie Menschen über die globale Klimaerwärmung in Gebirgsregionen nachdenken. Permafrostforschung war dabei nie ein gesellschaftsexternes Aufklärungsprogramm zur Sensibilisierung für Klimaprobleme. Ihre Arbeit entsprang existierenden Problemlagen und politischen Anliegen. Sie antwortete auf spezifische Fragen und produzierte bisweilen unerwartete Antworten, die Politiker*innen und die mediale Öffentlichkeit auch noch unterschiedlich rezipierten.

Wie sich Gebirgspermafrost im Klimawandel verändert, war um 1990 mehr oder weniger unbekannt. Permafrost weist eine hohe thermische Latenz auf. Deshalb benötigt man nicht unbedingt lange Datenreihen, um das Auftauen von Permafrostböden im Zeitraum vieler Jahre zu beurteilen. Das merkten auch die Permafrostforscher der VAW am Piz Corvatsch, als sie ihre Messungen mit Daten aus dem Norden Alaskas verglichen. Zwischen der Arktis und den Alpen bestanden aber deutliche strukturelle Unterschiede. Vor allem gab es im Alpenraum anfangs der 1990er Jahre nur zwei isolierte Bohrlöcher, in denen Temperaturmessungen durchgeführt werden konnten.

In welchen Mustern Permafrost in den Alpen abtaute und was für desaströse Folgen dieser Prozess hatte, zeigte sich erst im Konkreten. Zur antizipierten kam eine reale Katastrophe. Im Sommer 1987 wüteten zahlreiche Unwetter in den Schweizer Alpen. Daraufhin veranlasste der Schweizer Bundesrat eine wissenschaftliche Aufarbeitung der Katastrophen – unter anderem durch eine Untersuchung der ca. 600 Murgangereignisse im Unwettersommer. Deren Verteilung interpretierten die Experten als ein integrales Gletscher- und Permafrostproblem.

Die Zusammenarbeit zwischen Bundesbehörden und Hochschulen provozierte auf beiden Seiten Deutungsverschiebungen: Einerseits orientierte die Geografie der Desaster den wissenschaftlichen Blick auf das auftauende Eis. Andererseits blendete die Murgangstudie den sterbenden Wald zugunsten des Periglazialgürtels und der Erdatmosphäre aus. Die Faktoren Gletscher und Permafrost waren in der sogenannten «Ursachenanalyse» nur am Rand berücksichtigt worden. Das trug dazu bei, dass die Ergebnisse eine widersprüchliche Rezeption erfuhren. Statt einer Umweltkatastrophe war für einen Moment wieder von «natürlichen Ursachen» die Rede. Damit aus der Umwelt- eine Klimakatastrophe wurde, brauchte es geeignete gesellschaftliche Strukturen – und einiges an Zeit. 1991

verabschiedete der Bundesrat das NFP 31 zum Thema «Klimaveränderungen und Naturkatastrophen». Die Permafrostforschung nahm dort eine Schlüsselrolle ein.

Ein Forschungsschwerpunkt im NFP 31 war die Entwicklung von Permafrostanwendungen in GIS. Dabei entstanden aktuelle Karten, aber auch zeitabhängige Simulationen der Permafrostverbreitung in den Alpen. Für solche Computeranwendungen war das Forschungsobjekt regelrecht prädestiniert – die Verbreitung von diffusen thermischen Bedingungen war – rückblickend – schon immer ein Simulationsproblem gewesen. Die meisten GIS-Modelle funktionierten nach bekannten und bewährten Regeln. Präzedenzlos war die visuelle Selbstverständlichkeit, mit der der Permafrost auf den Computergrafiken aufleuchtete.

Diese Visualisierungsangebote richteten sich an einen drastisch erweiterten Adressat*innenkreis: Während Permafrostforschung zur Katastrophenforschung wurde, entstanden in ihrem Umfeld neue Netzwerke. Nachdem Permafrost jahrzehntelang ein entweder hintergründiges oder phantomartiges Hindernis bei der technischen Erschliessung der Alpen gewesen war, geriet dieses Umweltphänomen plötzlich ins Scheinwerferlicht: Es liess sich damit eine Welt erklären, die sich innerhalb kürzester Zeit neu geordnet hatte. Zu einem Stabilitätsfaktor wurde Gebirgspermafrost schliesslich durch seine zeitliche wie räumliche Redimensionierung. Das Verschwinden von etwas Absolutem und Stabilem implizierte das Auftauchen von etwas Relativem und Dynamischem.¹⁹⁰ Kommunikativ anschlussfähig war das Objekt Permafrost gerade deshalb, weil man es nicht sehen konnte und es erst wenige Jahrzehnte zuvor aufgetaucht war. Plötzlich wohnte den bröckelnden Alpengipfeln etwas Unheimliches inne. Damit stifteten sie eine symbolische Ordnung für Versuche der nationalen Selbstverortung.

¹⁹⁰ Für wertvolle Hinweise danke ich Luca Thanei, der sich mit einem ähnlichen Phänomen in der Geschichte des erdnahen Weltraums beschäftigt. Siehe ausserdem Gugerli 2024, S. 23–30.

4 Epilog im Wohnzimmer

Am Anfang dieser Geschichte erschien ein seltsames geologisches Artefakt – eine sogenannte «Permafrostlinse» – auf einer Baustelle im Berner Oberland, auf knapp 3000 Metern Höhe. Am Ende referiert ein politikinteressierter Architekturpublizist an einer Kunsthochschule in Köln über die Schweizer Globalisierungsangst. Die kollektive Wahrnehmung jenes Naturphänomens, das man heute *mountain permafrost* nennt, hat in der Zwischenzeit eine beeindruckende Wandlung durchgemacht, die ich auf den letzten 70 Seiten zu begleiten versucht habe.

Die Permafrostforschung im Alpenraum begann sich um 1970 zu formieren. Systematisierungserfolge erzielten Geografen vor allem durch das experimentelle Adaptieren geophysikalischer Sondierungsverfahren. Das Auftauchen von Permafrost in wissenschaftlichen Diagrammen hing davon ab, unterschiedliche Instrumente gegeneinander abzuwägen und deren spezifische Vorteile möglichst geschickt auszunutzen. Das exakteste Verfahren war eigentlich nie das praktikabelste. Diese Methodenarbeit war von Anfang an anwendungsmotiviert. Permafrostforscher engagierten sich in bisweilen kontroversen Bauprojekten, die sich während des Tourismusbooms ins Hochgebirge ausstreckten. Wissenschaftler und technische Experten kümmerten sich gemeinsam um die Fundierung von Seilbahnpylonen, Gipfelstationen und Restaurants. Dafür mussten die Verantwortlichen Temperaturunterschiede zuverlässig lokalisieren, markieren und kommunizieren können. Kontrolle war also immer auch eine Frage von Kontur: Auf der Grundlage von Messungen und Diagrammen versuchten die Bautechniker, die thermische Grenze zwischen dem Gebäude und seiner Umwelt zu stabilisieren. Entweder, indem sie möglichst wenig Wärme aus den Maschinenräumen, Restaurantküchen und Gästebereichen entweichen liessen; oder indem sie den Fels gleich mit Beton oder Drahtseilen absicherten. Die Emanzipation von der industriellen Anwendung suchten Gebirgspermafrostforscher*innen spätestens 1987, als sie unter nie dagewesenem Aufwand ein Forschungsprojekt am Piz Corvatsch starteten. Bei der Kernbohrung suchten die Geograf*innen der VAW den Anschluss an die interdisziplinäre Klimaforschung. Vermittelbar war das Projekt vor allem dann, wenn seine Leiter das im Blockgletscher eingeschlossene «ewige Eis» als «Klimaarchiv» stilisierten. Das Scheitern dieses Forschungsziels kann man metaphorisch lesen, denn das Projekt am Piz Corvatsch markiert einen Kipppunkt der Permafrostforschung in den Alpen. Ca. zwei Jahrzehnte lang hatten Wissenschaftler*innen und Techniker*innen versucht, den widerpenstigen Bodenfrost im Hochgebirge in ein möglichst *stabiles* wissenschaftliches Objekt zu transformieren – in ein Objekt, das sie vermessen, darstellen und abgrenzen konnten. Diese Phase habe ich als das *Auftauchen* von Permafrost in den Alpen bezeichnet.

Halbwegs stabil wurde Gebirgspermafrost in all den genannten Aktionsfeldern dann, wenn man seine Eigenartigkeit berücksichtigte oder sogar produktiv machte: seine Varianz, seine Unsichtbarkeit, sein transgressives Verhalten und seinen hypothetischen Index.

Mit der anschliessenden Phase des *Abtauens* benenne ich ein Aufmerksamkeitsmuster, bei dem Wissenschaftler*innen die Permafrostböden in den Alpen als *dynamisch* begriffen, in einem anderen Sinn als in den Jahrzehnten zuvor. Dafür redimensionierten sie das Phänomen auf zeitlicher wie auf räumlicher Ebene. Der Permafrost im Inneren der Alpengipfel verwob sich immer enger mit weltweiten Treibhausgasemissionen und der sich erwärmenden Erdatmosphäre. Die Permafrostböden tauten in einem Zeitrahmen von Jahrzehnten und Jahrhunderten ab, im Vergleich zu den schmelzenden Gletschern mit einer eigentümlichen Verzögerung. Das treibhausgas-induzierte Tauwetter setzte in den Alpen natürlich nicht erst in den 1990er Jahren ein. Die Voraussetzungen, unter denen ein Zusammenhang von Permafrost, Klima und Katastrophe in einer kollektiven Wahrnehmung Platz finden konnte, waren jedoch erst jetzt dann erfüllt. Es ist kaum überraschend, dass sich die Wahrnehmung von Gebirgspermafrost ausgerechnet dann wieder flexibilisierte, als die Alpenlandschaft zu desintegrieren begann. Ein wichtiger Anstoss für die Schweizer Auseinandersetzung mit Klimaveränderungen war das Katastrophenjahr 1987. Während der Sommermonate wurden zahlreiche Alpendörfer von Überschwemmungen und Murgängen heimgesucht, einige Gemeinden gleich mehrfach. Im gleichen Zeitraum, in dem die VAW die ersten Temperaturprofile im durchbohrten Blockgletscher am Piz Corvatsch aufzeichnete, erarbeitete das *Bundesamt für Wasserwirtschaft* eine Ursachenanalyse des Unwettersommers. Aus behördlicher Sicht spielte das Thema Permafrost nur eine untergeordnete Rolle. Den für die Untersuchung der Murgänge verantwortlichen Geografen fiel aber auf, dass die Katastrophen auf grossflächige Klima- und Umweltveränderungen hingen. Für ihre Studie berücksichtigten sie sowohl die schmelzenden Gletscher als auch den auftauenden Permafrost. Ihre Integrationsarbeit im Periglazialgürtel dürfte massgeblich dazu beigetragen haben, dass der Schweizer Bundesrat 1991 ein Nationales Forschungsprogramm zum Thema «Klimaveränderungen und Naturkatastrophen» verabschiedete. Im NFP 31 fand auch die Gebirgspermafrostforschung einen Platz. Ihr Forschungsobjekt verliess seine Nische und zirkulierte bald in raumgreifenden Bahnen. Immer mehr fachfremde Expert*innen und sogar eine kleine Fernsehöffentlichkeit begannen, sich für die Permafrostböden im Hochgebirge zu interessieren. Möglich waren diese Popularisierungserfolge aufgrund neuer Repräsentationsmöglichkeiten. Gebirgspermafrost erwies sich als extrem adaptionsfähig, ja regelrecht prädestiniert für die computergestützte Bildgebung mit geographischen Informationssystemen. Bald gab es nicht nur ein, sondern mehrere Programme, die bunte Permafrostkarten der Schweizer Alpen malten.

Durch diese kartografische Evidenz, aber auch durch Fernsehauftritte von Forscher*innen und ihren Laborpräparaten entwickelte das widerspenstige Phänomen ein ungeahntes Veranschaulichungspotenzial. Der auftauende Permafrost im Inneren der Alpenkulisse half der Schweiz, ihren Platz auf einem überhitzten Planeten und in einer globalisierten Welt zu reflektieren.

Was kann man abschliessend zu dieser Geschichte sagen? Es bietet sich an, ein letztes Mal einen ihrer Protagonisten zu Wort kommen zu lassen. Wilfried Haerberli resümiert heute: «Das Phänomen, das dem Auge verborgen in der Natur existiert, nimmt allmählich auch im Bewusstsein der Menschen Platz ein».¹⁹¹ Damit hat er Recht. Gebirgspermafrost ist nicht nur in die internationale Forschungslandschaft, sondern auch in ein populärwissenschaftliches Kollektivbewusstsein integriert. Haerberli beschreibt diese Entwicklung in einem Buch mit dem Untertitel *Die Alpen im Anthropozän*, erschienen 2023 im *Hier+Jetzt*-Verlag. Der Essay- und Bildband brilliert mit kunstvollen Fotoaufnahmen und moderner Typografie, gedruckt auf hochwertigem Papier. Das Thema Permafrost bekommt dort ein Kapitel zugewiesen. Offensichtlich kann man Gebirgspermafrost heute auf dem sprichwörtlichen *Coffee Table* platzieren, ohne sich um erschrockene Gäste sorgen zu müssen. Permafrost hat es in bundesstaatliche Institutionen und internationale Forschungsprogramme geschafft, in Atlanten, Essaybände und geisteswissenschaftliche Qualifikationsarbeiten – vor allem aber ist er in unserem Bewusstsein angekommen.

Oder etwa nicht? Tatsächlich kann einen diese Geschichte etwas irritiert zurücklassen. Die klimapolitische Ohnmacht, die sich in der Schweiz bereits in den 1990er Jahren breitgemacht hat,¹⁹² wurde in dieser Geschichte nicht explizit gemacht, sie begleitet sie aber wie ein dunkler Schatten. Sie eröffnet einen seltsamen Resonanzraum: Permafrost ist ein Phänomen, das heute wie gestern nach kurzen Aufmerksamkeitsschüben wieder völlig in der Versenkung verschwinden kann – so hohe Forschungsgelder es auch zu binden und so oft es in der Tagespresse aufzutauchen vermag. Von Permafrost wird immer dann gesprochen, wenn ein Überraschungseffekt erzielt werden soll. Der auftauende Permafrost symbolisiert ein «spätes Erwachen»,¹⁹³ eine verborgene Bedrohung, eine bröckelnde Idylle. Nicht nur weist eine derart normalisierte Rhetorik der Überraschung irgendwann Abnutzungserscheinungen auf. Wenn man diese Geschichte gelesen hat, liegt es eigentlich nahe, dass Expert*innen oder Unbefangene heute nicht mehr aus der Fassung geraten, wenn sie von Permafrost hören, zumindest nicht länger als einen Augenblick lang. Zu

¹⁹¹ Haerberli 2023, S. 109.

¹⁹² Vgl. Blülle 2021.

¹⁹³ Haerberli 2023, S. 109.

leistungsstark ist dieses Phänomen in den letzten Jahrzehnten isoliert wie integriert worden, zu stabil ist seine Wahrnehmung.

Das ist jedoch nicht das einzige Fazit, das man aus dieser Geschichte ziehen kann. Permafrostforschung wird durch ihre Historisierung nicht weniger valide und die Katastrophelage nicht weniger dramatisch. Ein historischer Zugang zeigt bloss, dass auch die abstraktesten Phänomene gar nicht anders beschrieben werden können als in konkreten Problemlagen, medial aufbereitet und in einem sozialen Rahmen. Wissen muss – auf die eine oder andere Art – aufgezeichnet, übersetzt, kommuniziert werden. Und wie es kommuniziert wird, macht einen Unterschied. Diese Kontingenz sollte man nicht als Wahrheitsmakel deuten, sie zeigt eher die Funktionsweise von etablierten und die Möglichkeit für neue Vermittlungsmöglichkeiten auf. Die Irritationsmomente dieser Geschichte bieten Anlass zum Innehalten und zum Verweilen, zum Erforschen verborgener Lücken. Was heisst es, wenn Permafrost heute einen Platz «im Bewusstsein der Menschen einnimmt»? Bewusstwerdung beruht auf Integration und Isolation, auf dem partiellen Einbeziehen und Ausschliessen von Realität. Solche Prozesse verlaufen nicht alternativlos. So kontrolliert ihre kollektive Wahrnehmung heute ist, so sehr handelt es sich bei Bodentemperaturen um etwas, das sich einer vollkommenen Repräsentation entzieht. Vielleicht sollte man im Hochgebirge weniger nach dem Unheimlichen als nach dem ganz und gar Fremden suchen.

Dank

Vor weniger als einem Jahr hätte ich nie daran gedacht, dass ich mein Studium mit einer Arbeit über Gebirgspermafrost abschliessen würde. Schliesslich wusste ich gar nicht, dass es so etwas gibt. Dass mich dieses Thema nicht nur gefordert, sondern immer wieder verblüfft und regelmässig beflügelt hat, verdanke ich einigen Personen.

Den Kontakt zu diesem Thema hat mein Betreuer David Gugerli hergestellt. Von ihm habe ich gelernt, dass die spannendsten Geschichten nicht an der Oberfläche warten. Von David Gugerli stammt auch der Kontakt zu Daniel Vonder Mühl, der – zusammen mit Wilfried Haeberli – meine geduldige und begeisterte Ansprechperson im Gelände war. Ohne das von den beiden zur Verfügung gestellte Kartenmaterial hätte ich mich nie so gut zurechtgefunden (weshalb es die ganze Zeit über meinem Schreibtisch hing). Meine Co-Betreuerin Monika Wulz hat nicht nur diese Arbeit, sondern auch ihre Vorbereitung eng begleitet und mit mir in zahlreichen Gesprächen den Rahmen zurechtgerückt. Rachele Delucchi, Mirjam Meyer, Luca Thanei, Manuel Weber, Ricky Wichum und Michelle Ziegler haben mir an der Professur für Technikgeschichte viele Türen geöffnet. Mindestens genauso dankbar bin ich ihnen, dass sie mich in kritischen Momenten an das richtige Mass erinnert haben. Mit Mina Hava, Philipp Klostermann, Leander Lelouvier, Leander Leuenberger, Frederike Maas und Dominik Müller habe ich eine Skizze im Masterarbeitskolloquium besprochen. In dieser und in allen anderen Sitzungen haben sie mir einen empathischen Gesprächsraum gezeigt und fantastische Denkanstösse gegeben. Moritz Bisjak, Zohra Briki, Alice Collins, Pit Heinrich, Friederike Schmid und Fanny Tockner haben unterschiedliche Versionen gelesen. Sie waren erreichbar und erfinderisch, und sie haben mich auf liebevolle Art ans Abstandnehmen und Durchatmen erinnert. Am engsten hat Inez Barer diese Geschichte begleitet. Ihre Einfälle, ihre Hingabe und ihr unverwechselbarer Witz stecken überall in diesem Text.

Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1: «Permafrostlinse» im Fels des Schilthorns (Quelle: Gruner und Stöcklin 1967, S. 502.).</i>	2
<i>Abb. 2: Auftautiefe und Profiltrassen am Blockgletscher Murtél 1 (Quelle: Barsch 1973, S. 152.)</i>	14
<i>Abb. 3: Topoklimatische Bedingungen für das Auftreten von Permafrost in Hanglagen; mit Legende (Montage J. S.) (Quelle: Haeberli 1975, S. 122–124.).</i>	22
<i>Abb. 4: Geoelektrisches Querprofil einer als Pfeilerfundament vorgesehenen Moräne am Kleinmatterhorn (Quelle: Keusen und Amiguet 1987, S. 429.).</i>	28

Abb. 5: Diagramm mit provisorischen Messungen; die gestrichelten Linien markieren Bereiche mit unsicheren Resultaten (Quelle: Haeberli u. a. 1988, S. 941.).....	32
Abb. 6: Illustration in der ersten Ausgabe der ProClim News von 1989. ProClim, das «Klimaprogramm der Schweiz», ist eine 1988 gegründete Ausstauschs- und Informationsstelle der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften. (Quelle: ProClim und Schotterer 1989, S. 14.).....	35
Abb. 7: Temperaturprofile aus Erdölquellen im Norden Alaskas, die Anzeichen für eine Erwärmung über mehrere Jahrzehnte aufweisen. Die Gleichgewichtslinie ist jeweils gestrichelt vermerkt. (Quelle: Lachenbruch und Marshall 1986, S. 692.).....	43
Abb. 8: Saisonale Temperaturprofile und ihr Mittelwert (gekennzeichnet mit einem Dreieck), gemessen im ersten Jahr nach der Bohrung im Blockgletscher Murtél (Quelle: Vonder Mühl und Haeberli 1990, S. 153.).....	44
Abb. 9: Weggespülte Doppelspur der SBB-Gotthardlinie in der Nähe von Gurtnellen (Uri) (Quelle: Enz, «Unwetter Uri», 25.08.1987, ETHZ e-pics Com_L36-0227-0001-0006)..	47
Abb. 10: Anrisszone oberhalb von Münster (Quelle: Zimmermann und Haeberli 1992, S. 66.)..	51
Abb. 11: Permafrostsimulation im Schweizer Fernsehen (Quelle: o. A. 1992, Abschn. 18:15.).....	57
Abb. 12: Permafrostverbreitung in den Berner Alpen, simuliert mit dem Programm PERM von M. Imhof, Universität Bern. (Quelle: Imhof 1996, S. 33.).....	61
Abb. 13: Präparierter Murgang im Schweizer Fernsehen (Quelle: o. A. 1992, Abschn. 20:40.)..	65
Abb. 14: Illustration in der Architekturzeitschrift Hochparterre, in der Köbi Gantenbein seine Rede aus Köln veröffentlichte. (Quelle Gantenbein 1995, S. 15.).....	68

Archivquellen

Schweizerisches Bundesarchiv (BAR)

Allgemeines, Korrespondenz, Stellungnahmen, BR-Beschlüsse: E3370C#2001/119#1*.

Digitale Amtsdrukschriften.

Hochwasserereignisse 1987; Ursachenanalyse. Zwischenberichte und Schlussbericht.

101.8 66: E3363A#2009/242#2826*.

NFP 31 "Klimaänderungen und Naturkatastrophen: E7187A#1999/128#229*.

PNR 31 Klimaveränderungen und Naturkatastrophen: E3371A#2002/64#901*.

Hochschularchiv der ETH Zürich (ETHZ)

Bildarchiv *e-pics* der ETH Bibliothek

W. Haerberli, A. Iken, M. Funk: Permafrost und kaltes Eis in den Alpen: *EZ-1.4/955*.

W. Haerberli, J. Huder: Wissenschaftliche Kernbohrung im Permafrost eines aktiven Blockgletschers (Dossier): *EZ-1.4/286*.

W. Haerberli, M. Funk, A. Iken: Permafrost und kaltes Eis in den Alpen: *EZ-1.4/574*.

Zeitungen

BLZ (*Basellandschaftliche Zeitung*)

BT (*Berner Tagwacht*)

DB (*Der Bund*)

EP (*Engadiner Post*)

NZZ (*Neue Zürcher Zeitung*)

TA (*Tagesanzeiger*)

WV (*Walliser Volksfreund*)

Literaturverzeichnis

Achermann, Dania. 2020. «Vertical Glaciology: The Second Discovery of the Third Dimension in Climate Research». *Centaurus* 62, Nr. 4 (November): 720–743. <https://doi.org/10.1111/1600-0498.12294>.

Aschwanden, Romed. 2021. *Politisierung der Alpen: Umweltbewegungen in der Ära der Europäischen Integration (1970–2000)*. Köln: Böhlau Verlag. <https://doi.org/10.7788/9783412521363>.

Barad, Karen. 2007. *Meeting the Universe Halfway: Quantum Physics and the Entanglement of Matter and Meaning*. Durham: Duke University Press.

Barsch, Dietrich. 1969a. «Studien und Messungen an Blockgletschern in Macun, Unterengadin». *Zeitschrift für Geomorphologie* Suppl.-Bd. 8: 11–30.

———. 1969b. «Permafrost in Der Oberen Subnivalen Stufe Der Alpen». *Geographica Helvetica* 24, Nr. 1 (März): 10–12. <https://doi.org/10.5194/gh-24-10-1969>.

———. 1973. «Refraktionsseismische Bestimmung der Obergrenze des gefrorenen Schuttkörpers in verschiedenen Blockgletschern Graubündens, Schweizer Alpen». *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* IX, Nr. 1–2: 143–167.

———. 1977. «Ein Permafrostprofil aus Graubünden, Schweizer Alpen». *Zeitschrift für Geomorphologie* 21, Nr. 1: 79–86.

Bätzing, Werner. 1987. «Die Umweltkatastrophen in den Alpen: Warum die vorschnellen Begründungen <Waldsterben und Massentourismus> zu kurz greifen». *Kommune: Forum für Politik, Ökonomie, Kultur* 5, Nr. 10: 24–27.

———. 1988. «Hat die Natur zurückgeschlagen? Die Umweltkatastrophen in den Alpen». *Wechselwirkung*, Nr. 36 (Februar): 29–33.

- Beck, Ulrich. 1986. *Risikogesellschaft: auf dem Weg in eine andere Moderne*. Edition Suhrkamp 1365. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Bernet, Daniel. 2008. «Von Morgan bis Bond: Schilthornbahn 1959-1969». *Berner Zeitschrift für Geschichte und Heimatkunde* 70, Nr. 3: 1–53. <https://doi.org/10.5169/SEALS-247360>.
- Bill, Ralf. 2016. *Grundlagen der Geo-Informationssysteme: 6. Auflage*. Berlin: Wichmann.
- Blülle, Elia. 2021. «Das verlorene Jahrzehnt: Wie die Schweizer Klimapolitik durchstartete – und abstürzte». *Republik*, 28. Mai 2021. <https://www.republik.ch/2021/05/28/das-verlorene-jahrzehnt-wie-die-schweizer-klimapolitik-durchstartete-und-abstuerzte> (zugegriffen: 18. April 2024).
- Bonneuil, Christophe. 2020. «Der Historiker und der Planet: Planetaritätsregimes an der Schnittstelle von Welt-Ökologien, ökologischen Reflexivitäten und Geo-Mächten». In: *Gesellschaftstheorie im Anthropozän*, hg. von Frank Adloff und Sighard Neckel, 1: 55–92. Zukünfte der Nachhaltigkeit. Frankfurt/New York: Campus Verlag.
- Bowker, Geoffrey C. 1994. *Science on the run: information management and industrial geophysics at Schlumberger, 1920-1940*. Inside technology. Cambridge MA: MIT Press.
- Bowker, Geoffrey C und Susan Leigh Star. 1999. *Sorting things out: Classification and its consequences*. Cambridge MA: MIT press.
- Bucher, Walter, Reg. 1994. «Permafrost». 10 vor 10. *Schweizer Radio und Fernsehen*. <https://www.srf.ch/play/tv/10-vor-10/video/permafrost?urn=urn:srf:video:50bd1155-4a6d-420f-99a6-26c77107e32d> (zugegriffen: 31. Mai 2024).
- Bundesamt für Wasserwirtschaft und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 1991a. «Ursachenanalyse der Hochwasser 1987: Ergebnisse der Untersuchungen». Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 4. Bern: Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/naturgefahren/uw-umwelt-wissen/ursachenanalyse_derhochwasser1987.pdf.download.pdf/ursachenanalyse_derhochwasser1987.pdf (zugegriffen: 18. April 2024).
- . 1991b. «Ursachenanalyse der Hochwasser 1987: Schlussbericht». Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 5. Bern: Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement.
- Burn, Christopher R. 2021. «Dr. Arthur H. Lachenbruch (1925-2021)». International Permafrost Association. <https://www.permafrost.org/newsitem/dr-arthur-h-lachenbruch-1925-2021/> (zugegriffen: 10. Oktober 2024).
- Burri, Monika. 2005. «Die ETH als Dienstleisterin. Die Versuchsanstalt für Wasserbau». In: *ETHistory 1855-2005*, hg. von Monika Burri und Andrea Westermann, 89–92. Baden: Hier + Jetzt.
- Campell, Eduard. 1954. «Eigenschaften und Erstellung von Trockenmauerwerk». *Bündnerwald: Organ des Bündn. Forstervereins und der Selva* 7, Nr. 4 (Januar): 111–116.
- Carey, Mark. 2007. «The History of Ice: How Glaciers Became an Endangered Species». *Environmental History* 12, Nr. 3: 497–527.
- Carey, Mark, Jordan Barton und Sam Flanzer. 2022. «Glacier Protection Campaigns: What Do They Really Save?» In: *Ice Humanities: Living, Working, and Thinking in a Melting World*, hg. von Klaus Dodds und Sverker Sörlin, 89–109. Manchester: Manchester University Press.
- Chaix, André. 1919. «Coulées de blocs (Rock-glaciers, Rock-streams) dans le parc national suisse de la Basse-Engadine». [Text/html,application/pdf,text/html](https://doi.org/10.5169/SEALS-742176). Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève. <https://doi.org/10.5169/SEALS-742176>.

- Chakrabarty, Dipesh. 2009. «The Climate of History: Four Theses». *Critical Inquiry* 35, Nr. 2 (Januar): 197–222.
- . 2022. *Das Klima der Geschichte im planetarischen Zeitalter*. Übers. von Christine Pries. Erste Auflage, Deutsche Erstausgabe. Berlin: Suhrkamp.
- Chen, Jiyang und Martin Funk. 1990. «Mass balance of Rhonegletscher during 1882/83–1986/87». *Journal of Glaciology* 36, Nr. 123: 199–209.
- Chu, Pey-Yi. 2015. «Mapping Permafrost Country: Creating an Environmental Object in the Soviet Union, 1920s–1940s». *Environmental History* 20, Nr. 3 (Juli): 396–421. <https://doi.org/10.1093/envhis/emv050>.
- . 2020. *The Life of Permafrost: A History of Frozen Earth in Russian and Soviet Science*. Toronto, Buffalo, London: University of Toronto Press.
- Coates, Peter A. 1991. *The Trans-Alaska Pipeline controversy: technology, conservation, and the frontier*. Cranbury NJ: Lehigh University Press.
- Coen, Deborah R. 2016. «Big Is a Thing of the Past: Climate Change and Methodology in the History of Ideas». *Journal of the History of Ideas* 77, Nr. 2: 305–321.
- Crate, Susan Alexandra. 2022. *Once upon the Permafrost: Knowing Culture and Climate Change in Siberia*. Critical Green Entanglements. Tucson AR: The University of Arizona Press.
- Denning, Andrew. 2015. *Skiing into modernity: a cultural and environmental history*. Sport in world history 3. Oakland, California: University of California Press.
- Dodds, Klaus und Sverker Sörlin. 2022. «Ice Humanities: Living, Working, and Thinking in a Melting World». In: *Ice Humanities: Living, Working, and Thinking in a Melting World*, hg. von Klaus Dodds und Sverker Sörlin, 1–34. Manchester: Manchester University Press.
- Dommann, Monika. 2003. *Durchsicht, Einsicht, Vorsicht: eine Geschichte der Röntgenstrahlen: 1896 - 1963*. Interferenzen 5. Zürich: Chronos Verlag.
- Edwards, Paul N. 2000. «The World in a Machine: Origins and Impacts of Early Computerized Global Systems Models». In: *Systems, Experts, and Computers: The Systems Approach in Management and Engineering, World War II and After*, hg. von Agatha C. Hughes und Thomas P. Hughes, 221–253. (zugegriffen: 8. April 2024).
- . 2004. «Infrastructure and Modernity: Force, Time, and Social Organization in the History of Sociotechnical Systems». In: *Modernity and Technology*, hg. von Thomas J. Misa, Philip Brey, und Andrew Feenberg, 185–225. Cambridge MA: MIT Press.
- Feyerabend, Paul. 1986. *Wider den Methodenzwang*. Übers. von Hermann Vetter. Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 597. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- French, Hugh M. 2018. *The Periglacial Environment*. 4th edition. Hoboken: J. Wiley.
- Freud, Sigmund. (1919) 2021. *Das Unheimliche*. Hg. von Oliver Jahraus. Reclams Universal-Bibliothek, Nr. 14030. Ditzingen: Reclam.
- Frey, Felix. 2023. «Computertaugliche Alpen: digitale Geländemodelle der Schweiz seit 1965». *Schweizerische Zeitschrift für Geschichte* 73, Nr. 3. Schwabe Verlagsgruppe AG: 308–329. <https://doi.org/10.24894/2296-6013.00131>.
- Fuchs, Thomas. 2024. «Robert Haefeli». Historisches Lexikon der Schweiz. <https://hls-dhs-dss.ch/articles/031380/2024-05-03/> (zugegriffen: 22. August 2024).
- Furrer, Gerhard und Peter Fitze. 1970. «Beitrag zum Permafrostproblem in den Alpen». *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* 115, Nr. 3: 353–368.
- Gantenbein, Köbi. 1995. «Die Grenzwächter wohnen im Permafrost». *Hochparterre* 8, Nr. 3: 14–15. <https://doi.org/10.5169/SEALS-120142>.
- Glogger, Beat. 1992. *Die Schweiz im Treibhaus: regionale Auswirkungen der globalen Klimabedrohung*. Zürich: Verlag Neue Zürcher Zeitung.

- . 1998. *Heisszeit: Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz*. Nationales Forschungsprogramm «Klimaänderungen und Naturkatastrophen», NFP 31. Zürich: Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Gruner, Georg und Fritz Stöcklin. 1967. «Die Schilthornbahn: eine Luftseilbahn im Berner Oberland. 2. Teil: Bauprobleme bei der Ausführung». *Schweizerische Bauzeitung* 85, Nr. 26 (Juni). <https://doi.org/10.5169/SEALS-69486>.
- Gugerli, David. 1996. *Redeströme: Zur Elektrifizierung der Schweiz, 1880-1914*. Zürich: Chronos.
- . 1999. «Soziotechnische Evidenzen: der <Pictorial Turn> als Chance für die Geschichtswissenschaft». *Traverse: Zeitschrift für Geschichte* 6, Nr. 3: 131–159. <https://doi.org/10.5169/SEALS-17731>.
- Gugerli, David. 2002. «Der fliegende Chirurg. Kontexte, Problemlagen und Vorbilder der virtuellen Endoskopie». In: *Ganz normale Bilder: Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit*, hg. von David Gugerli und Barbara Orland, 251–270. Interferenzen 2. Zürich: Chronos. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-004374140>.
- Gugerli, David. 2014. «Resonanzen der Risikogesellschaft: Zu Risiken und Nebenwirkungen eines populären Begriffs». *Traverse: Zeitschrift für Geschichte*, Nr. 3: 27–36.
- . 2024. *Vom Verschwinden der Technik*. Zürich: Chronos.
- Gugerli, David und Barbara Orland. 2002a. «Einführung». In: *Ganz normale Bilder: Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit*, hg. von David Gugerli und Barbara Orland, 9–16. Interferenzen 2. Zürich: Chronos. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-004374140>.
- , Hrsg. 2002b. *Ganz normale Bilder: Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit*. Interferenzen 2. Zürich: Chronos. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-004374140>.
- Güttler, Nils. 2019. «<Hungry for Knowledge>: Towards a Meso-History of the Environmental Sciences». *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 42, Nr. 2–3: 235–258. <https://doi.org/10.1002/bewi.201900013>.
- . 2023. *Nach der Natur: Umwelt und Geschichte am Frankfurter Flughafen*. Göttingen: Wallstein Verlag. <https://doi.org/10.46500/83535381>.
- Güttler, Nils, Margarete Pratschke und Max Stadler. 2016. «Die Zeitschrift <Wechselwirkung – Technik, Naturwissenschaft, Gesellschaft>, 1979–1989. Ein Interview mit Reinhard Behnisch, Barbara Orland, Elvira Scheich». In: *Wissen, ca. 1980*, hg. von Nils Güttler, Margarete Pratschke, und Max Stadler. Nach Feierabend, 12.2016. Zürich Berlin: diaphanes.
- Haeberli, Wilfried. 1973. «Die Basistemperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen». *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* IX, Nr. 1–2: 221–227.
- . 1975. *Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden)*. Bd. 17. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Zürich.
- , Hrsg. 1990. *Pilot analyses of permafrost cores from the active rock glacier Murtel I, Piz Corvatsch, Eastern Swiss Alps: A workshop report*. Zürich: Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.
- . 1992. «Possible Effects of Climatic Change on the Evolution of Alpine Permafrost». In: *Greenhouse-Impact on Cold-Climate Ecosystems and Landscapes: Selected papers of the European Conference on Landscape Ecological Impact of Climatic*

- Change, Lunteren, The Netherlands, December 3-7, 1989*, hg. von M. Boer und E. Koster, 22: 23–35. Catena Supplement. Cremlingen-Destedt: Catena.
- . 1996. «Die <Permafrost-Faustregeln> der VAW/ETHZ - einige grundsätzliche Bemerkungen». In: *Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit geographischen Informationssystemen*, von Wilfried Haeblerli, Martin Hölzle, Jean-Philippe Dousee, Cornel Ehrler, Jean-Michel Gardaz, Markus Imhof, Felix Keller, Pierre Kunz, Ralph Lugon, und Emmanuel Reynard, 13–18. Arbeitsbericht NFP 31. Zürich: Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- . 2023. «Aufgeheiztes Hochgebirge: Über Permafrost und Felsstürze». In: *Nutzen, benutzen, hegen, pflegen: die Alpen im Anthropozän*, hg. von Madlaina Bundi, Boris Previšić, Aline Stadler, Marco Volken, und Urner Institut Kulturen der Alpen an der Universität Luzern, 109–115. Zürich: Hier und Jetzt.
- Haeblerli, Wilfried und Stephan Gruber. 2009. «Mountain Permafrost». In: *Permafrost Soils*, hg. von Rosa Margesin, 16: 33–46. Soil Biology. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69371-0>.
- Haeblerli, Wilfried, Martin Hölzle, Jean-Philippe Dousee, Cornel Ehrler, Jean-Michel Gardaz, Markus Imhof, Felix Keller, Pierre Kunz, Ralph Lugon und Emmanuel Reynard. 1996. *Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit geographischen Informationssystemen*. Arbeitsbericht NFP 31. Zürich: Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Haeblerli, Wilfried, J. Huder, Hans-Rudolf Keusen, J. Pika und H. Röthisberger. 1988. «Core Drilling through Rock Glacier-Permafrost». In: *Permafrost: Fifth International Conference. Proceedings Volume 2*, hg. von Kaare Senneset, 937–942. Trondheim: Tapir Publishers.
- Haeblerli, Wilfried, Andreas Käab, Martin Hoelzle, Hermann Bösch, Martin Funk, Daniel Vonder Mühl und Felix Keller. 1999. *Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge*. Schlussbericht NFP 31. Zürich: Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Haeblerli, Wilfried und Peter Kasser. 1979. *Die Schweiz und ihre Gletscher: von der Eiszeit bis zur Gegenwart [Ausstellungskatalog]*. Hg. von Office national suisse du tourisme und Schweizerische Verkehrszentrale. Bern: Kümmerly & Frey.
- Haeblerli, Wilfried und Jean-Pierre Lautridou. 1992. «Introduction: International Workshop on Permafrost and Periglacial Environments in Mountain Areas, Interlaken (Switzerland), 16–20 September». *Permafrost and Periglacial Processes* 3, Nr. 2 (April): 71–72. <https://doi.org/10.1002/ppp.3430030203>.
- Haeblerli, Wilfried, Jeannette Noetzi und Daniel Vonder Mühl. 2023. «Using Borehole Temperatures for Knowledge Transfer about Mountain Permafrost: The Example of the 35-year Time Series at Murtèl-Corvatsch (Swiss Alps)». *Journal of Alpine research/Revue de géographie alpine*, Nr. 111–2. <https://doi.org/10.4000/rga.11950>.
- Haeblerli, Wilfried, D. Rickenmann und Markus Zimmermann. 1990. «Investigation of 1987 debris flows in the Swiss Alps: general concept and geophysical soundings». In: *Hydrology in Mountainous Regions II: Artificial Reservoirs; Water and Slopes (Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990)*, hg. von Richard O. Sinniger und Michel Monbaron, 194: 303–310. IAHS Publication. Lausanne.
- Haeblerli, Wilfried und Evi Schüpbach. 1988. «Gletscher und Permafrost als Spiegel der Erwärmungstendenz im zwanzigsten Jahrhundert». *Berner Geographische Mitteilungen: Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft Bern und Jahresbericht des Geographischen Institutes der Universität Bern*. <https://doi.org/10.5169/SEALS-321728>.
- Haefeli, R. 1960. «Eine Parallele zwischen der Eiskalotte Jungfrauoch und den grossen Eisschildern der Arktis und Antarktis». *Geologie und Bauwesen* 26, Nr. 1: 191–213.

- Haller, Lea. 2012. *Cortison: Geschichte eines Hormons, 1900-1955*. Interferenzen 18. Zürich: Chronos.
- Haraway, Donna. 1991. *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature*. New York NY: Routledge.
- Harris, Stuart und R. Brown. 1978. «Plateau Mountain: A Case Study of alpine permafrost in the Canadian Rocky Mountains». In: *Permafrost: Third International Conference. Proceedings Volume 1*, hg. von The National Research Council of Canada, 385–391. Ottawa.
- Heinrich, Michael. 1988. *Sind die Alpen noch zu retten? Die Zerstörung eines Lebensraumes*. Heyne Report 10/47. München: Heyne.
- Heintz, Bettina und Arnold Benz, Hrsg. 2001. *Mit dem Auge denken: Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*. Theorie - Gestaltung 1. Zürich: Ed. Voldemeer.
- Heiss, Hans. 2004. «Saisons sans fin? : les grandes étapes de l'histoire du tourisme, 1830-2002». *Histoire des Alpes = Storia delle Alpi = Geschichte der Alpen* 9: 45–59. <https://doi.org/10.5169/SEALS-10111>.
- Heßler, Martina und Dieter Mersch. 2009. *Logik des Bildlichen: zur Kritik der ikonischen Verunft*. Metabasis. Bielefeld: transcript.
- Higuchi, Keiji und Yoshiyuki Fujii. 1971. «Permafrost at the Summit of Mount Fuji, Japan». *Nature* 230, Nr. 5295 (April): 521–521. <https://doi.org/10.1038/230521a0>.
- Hirni, Roland. 1987. «75 Jahre Jungfraubahn: Die Jungfraubahn und das Berghaus». *Schweizer Ingenieur und Architekt* 105, Nr. 30–31: 889–891. <https://doi.org/10.5169/SEALS-76657>.
- Hoelzle, Martin. 1996. «Mapping and Modelling of Mountain Permafrost Distribution in the Alps». *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography* 50, Nr. 1 (Januar): 11–15. <https://doi.org/10.1080/00291959608552347>.
- Hoelzle, Martin, Daniel Vonder Mühl und Wilfried Haeblerli. 2002. «Thirty Years of Permafrost Research in the Corvatsch-Furtschellas Area, Eastern Swiss Alps: A Review». *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography* 56, Nr. 2 (Januar): 137–145. <https://doi.org/10.1080/002919502760056468>.
- Höhler, Sabine. 2002. «<Dichte Beschreibungen>. Die Profilierung ozeanischer Tiefe im Lotverfahren von 1850 bis 1930». In: *Ganz normale Bilder: Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit*, hg. von David Gugerli und Barbara Orlando, 19–46. Interferenzen 2. Zürich: Chronos. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-004374140>.
- Horn, Eva. 2007. «Editor's Introduction: <There Are No Media>». *Grey Room* 29 (Oktober): 6–13. <https://doi.org/10.1162/grey.2007.1.29.6>.
- . 2014. *Zukunft als Katastrophe*. S. Fischer Wissenschaft. Frankfurt am Main: S. Fischer.
- Hupfer, Franziska. 2019. *Das Wetter der Nation: Meteorologie, Klimatologie und der schweizerische Bundesstaat, 1860-1914*. Interferenzen 27. Zürich: Chronos.
- Imhof, Markus. 1996. «PERM - ein Programm für die automatisierte Kartierung von Permafrost in den Schweizer Alpen». In: *Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit geographischen Informationssystemen*, von Wilfried Haeblerli, Martin Hölzle, Jean-Philippe Dousee, Cornel Ehrler, Jean-Michel Gardaz, Markus Imhof, Felix Keller, Pierre Kunz, Ralph Lugon, und Emmanuel Reynard, 25–34. Arbeitsbericht NFP 31. Zürich: Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Inkpen, Dani. 2023. *Capturing Glaciers: A History of Repeat Photography and Global Warming*. Weyerhaeuser Environmental Books. Seattle WA: University of Washington Press.

- Isberg, Erik. 2022a. «Frozen Archives on the Go: Ice Cores and the Temporalization of Earth System Science». In: *Ice Humanities: Living, Working, and Thinking in a Melting World*, hg. von Klaus Dodds und Sverker Sörlin, 266–283. Manchester: Manchester University Press.
- . 2022b. «Timing the Ocean Floor». In: *Environing Media*, von Adam Wickberg und Johan Gärdebo, 1. Aufl., 150–166. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003282891-12>.
- Jones, Caroline A. und Peter Galison. 1998. *Picturing Science, Producing Art*. New York NY: Routledge.
- Keller, Felix. 1992. «Automated Mapping of Mountain Permafrost Using the Program PERMAKART within the Geographical Information System ARC/INFO». *Permafrost and Periglacial Processes* 3, Nr. 2: 133–138. <https://doi.org/10.1002/ppp.3430030210>.
- Keller, Felix und Martin Hölzle. 1996. «PERMAKART und PERMAMAP». In: *Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit geographischen Informationssystemen*, von Wilfried Haeblerli, Martin Hölzle, Jean-Philippe Dousee, Cornel Ehrler, Jean-Michel Gardaz, Markus Imhof, Felix Keller, Pierre Kunz, Ralph Lugon, und Emmanuel Reynard, 35–46. Arbeitsbericht NFP 31. Zürich: Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Keusen, Hans-Rudolf und Jean-Louis Amiguet. 1987. «Geologie, Felseigenschaften, Permafrost». *Schweizer Ingenieur und Architekt* 105, Nr. 30–31: 87–88. <https://doi.org/10.5169/SEALS-76663>.
- Keusen, Hans-Rudolf und Wilfried Haeblerli. 1983. «Site Investigation and Foundation Design Aspects of Cable Car Construction in Alpine Permafrost at the <Chli Matterhorn,> Wallis, Swiss Alps». In: *Permafrost: Fourth International Conference. Proceedings*, 601–605. Fairbanks AK: National Academy Press.
- Krämer, Sybille. 2009. «Operative Bildlichkeit. Von der ‚Grammatologie‘ zu einer ‚Diagrammatologie‘? Reflexionen über erkennendes ‚Sehen‘». In: *Logik des Bildlichen. Zur Kritik der ikonischen Vernunft*, hg. von Martina Heßler und Dieter Mersch, 2: 94–122. Metabasis: Transkriptionen zwischen Literaturen, Künsten und Medien. transcript Verlag. (zugegriffen: 26. September 2023).
- Lachenbruch, Arthur H. und Max C. Brewer. 1957. «Three-Dimensional Heat Conduction in Permafrost Beneath Heated Buildings». *U.S. Geological Survey Bulletin*, Nr. 1052-B: 51–69.
- Lachenbruch, Arthur H., T. T. Cladouhos und R. W. Saltus. 1988. «Permafrost Temperature and the Changing Climate». In: *Permafrost: Fifth International Conference. Proceedings Volume 3*, hg. von Kaare Senneset, 9–17. Trondheim: Tapir Publishers.
- Lachenbruch, Arthur H. und B. Vaughn Marshall. 1986. «Changing Climate: Geothermal Evidence from Permafrost in the Alaskan Arctic». *Science* 234, Nr. 4777 (November). American Association for the Advancement of Science: 689–696. <https://doi.org/10.1126/science.234.4777.689>.
- Latour, Bruno. 1986. «Visualization and Cognition: Thinking with Eyes and Hands». In: *Knowledge and Society: Studies in the Sociology of Culture Past and Present*, hg. von Henrika Kuklick, 6: 1–40. Greenwich CO: JAI Pres.
- Latour, Bruno und Steve Woolgar. (1979) 1986. *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Leane, Elizabeth. 2022. «Cryonarratives for Warming Times: Icebergs as Planetary Travelers». In: *Ice Humanities: Living, Working, and Thinking in a Melting World*, hg. von Klaus Dodds und Sverker Sörlin, 250–265. Manchester: Manchester University Press.

- Luhmann, Niklas. 1986. *Ökologische Kommunikation: Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefahren einstellen?* Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Martin-Nielsen, Janet. 2013. «The Deepest and Most Rewarding Hole Ever Drilled: Ice Cores and the Cold War in Greenland». *Annals of Science* 70, Nr. 1 (Januar): 47–70. <https://doi.org/10.1080/00033790.2012.721123>.
- Mathieu, Jon. 2010. «Landschaftsgeschichte global: Wahrnehmung und Bedeutung von Bergen im internationalen Austausch des 18. bis 20. Jahrhunderts». *Schweizerische Zeitschrift für Geschichte* 60, Nr. 4: 412–427. <https://doi.org/10.5169/SEALS-170034>.
- . 2016. *Die Alpen: Raum - Kultur - Geschichte*. 2., Durchgesehene Auflage. Stuttgart: Reclam.
- Maurhofer, Felix. 2006. «Zur Geschichte der Schweizer Seilbahnen: Pioniergeist als Triebfeder». *Die Alpen* 82, Nr. 1: 44–48.
- McBeath, Jenifer Huang, Hrsg. 1984. *The Potential Effects of Carbon Dioxide-Induced Climatic Changes in Alaska: Proceedings of a Conference Held at the University of Alaska, Fairbanks, April 7-8, 1982*. Fairbanks AK: School of Agriculture and Land Resources Management, University of Alaska.
- Mercanton, Paul Louis. 1916. *Vermessungen am Rhonegletscher 1874-1915*. Hg. von Gletscher-Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Bd. 52. Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Basel: Georg.
- o. A. 1980. «Kleines Matterhorn - Die höchstgelegene Luftseilbahn Europas». MTW Menschen Technik Wissenschaft. *Schweizer Radio und Fernsehen*. <https://www.srf.ch/play/tv/mtw/video/kleines-matterhorn-die-hoehchstgelegene-luftseilbahn-europas?urn=urn:srf:video:ce9e6686-a431-4005-adb6-ea93cdb16a8e> (zugegriffen: 29. Mai 2024).
- o. A. 1987. «DRS aktuell vom 25.08.1987». *Schweizer Radio und Fernsehen*. Zürich. <https://www.srf.ch/play/tv/drs-aktuell/video/drs-aktuell-vom-25-08-1987?urn=urn:srf:video:52156c77-8b33-48cc-9199-0317a254ff4d> (zugegriffen: 2. August 2024).
- o. A. 1992. «Eine Welt für alle». MTW Menschen Technik Wissenschaft. *Schweizer Radio und Fernsehen*. <https://www.srf.ch/play/tv/mtw/video/eine-welt-fuer-alle-permafrost?urn=urn:srf:video:87ba52be-3b9f-4bc1-9c58-04d68816d22d> (zugegriffen: 12. April 2024).
- Oeschger, Hans, U. Schotterer, B. Stauffer, Wilfried Haeblerli und H. Röthlisberger. 1977. «First results from Alpine core drilling projects». *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 13, Nr. 1/2: 193–208.
- Oreskes, Naomi und Erik M. Conway. 2010. *Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming*. 1st U.S. ed. New York NY: Bloomsbury Press.
- Pfäffli, Lea. 2015. «Diplomatie statt Heldentum: Robert Haefeli, die Schweizer Polarforschung und der Kalte Krieg». In: *Die Naturforschenden: Auf der Suche nach Wissen über die Schweiz und die Welt, 1800-2015*, hg. von Patrick Kupper und Bernhard C. Schär, 211–224. Baden: Hier und Jetzt.
- Phillips, Marcia. 2000. «Influences of Snow Supporting Structures on the Thermal Regime of the Ground in Alpine Permafrost Terrain». Davos: Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung.
- . 2006. «Avalanche Defence Strategies and Monitoring of Two Sites in Mountain Permafrost Terrain, Pontresina, Eastern Swiss Alps». *Natural Hazards* 39, Nr. 3 (Dezember): 353–379. <https://doi.org/10.1007/s11069-005-6126-x>.

- Pias, Claus. 2011. «On the Epistemology of Computer Simulation». *Zeitschrift für Medien- und Kulturforschung* 2, Nr. 1: 29–54. <https://doi.org/10.28937/1000107521>.
- Pritchard, Sara B. 2011. *Confluence: The Nature of Technology and the Remaking of the Rhône*. Harvard Historical Studies 172. Cambridge, Mass: Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674061231>.
- ProClim und Ulrich Schotterer. 1989. «ProClim News». 1. Bern: Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften.
- Purtschert, Patricia. 2019. *Kolonialität und Geschlecht im 20. Jahrhundert: eine Geschichte der weißen Schweiz*. Postcolonial studies, Band 33. Bielefeld: transcript.
- Radkau, Joachim. 2011. *Die Ära der Ökologie: eine Weltgeschichte*. München: Beck.
- Rheinberger, Hans-Jörg. 2001. «Objekt und Repräsentation». In: *Mit dem Auge denken: Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, hg. von Bettina Heintz und Arnold Benz. Theorie - Gestaltung 1. Zürich: Ed. Voldemeer [u.a.].
- . 2005. «Gaston Bachelard and the Notion of "Phenomenotechnique"». *Perspectives on Science* 13, Nr. 3 (September): 313–328. <https://doi.org/10.1162/106361405774288026>.
- . 2006. *Experimentalsysteme und epistemische Dinge: eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas*. 1. Aufl. Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft 1806. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Rickenbacher, M. 1992. «Das digitale Höhenmodell DHM25 und seine möglichen Anwendungen in der amtlichen Vermessung». *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 90, Nr. 12 (Dezember): 735–737. <https://doi.org/10.5169/SEALS-234893>.
- Rieder, Urs, Hans-Rudolf Keusen und Jean-Louis Amiguet. 1980. «Geotechnische Probleme beim Bau der Luftseilbahn Trockener Steg - Klein Matterhorn». *Schweizer Ingenieur und Architekt* 98, Nr. 18: 428–431. <https://doi.org/10.5169/SEALS-74107>.
- Salomon, Wilhelm. 1929. *Arktische Bodenformen in den Alpen*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111667454>.
- Schär, Bernhard C. 2015. «On the Tropical Origins of the Alps». In: *Colonial Switzerland: Rethinking Colonialism from the Margins*, hg. von Patricia Purtschert und Harald Fischer-Tiné, 29–49. Cambridge Imperial and Post-Colonial Studies Series. London: Palgrave Macmillan UK. https://doi.org/10.1057/9781137442741_2.
- Schneider, Birgit. 2018. *Klimabilder: eine Genealogie globaler Bildpolitiken von Klima und Klimawandel*. Erste Auflage. Berlin: Matthes & Seitz.
- . 2023. *Der Anfang einer neuen Welt: wie wir uns den Klimawandel erzählen, ohne zu verstummen*. Berlin: Matthes & Seitz.
- Sörlin, Sverker und Nina Wormbs. 2018. «Environing Technologies: A Theory of Making Environment». *History and Technology* 34, Nr. 2 (April): 101–125. <https://doi.org/10.1080/07341512.2018.1548066>.
- Speich Chassé, Daniel. 2003. *Helvetische Meliorationen: die Neuordnung der gesellschaftlichen Naturverhältnisse an der Linth (1783-1823)*. Interferenzen 6. Zürich: Chronos. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004556182>.
- Stadler, Max, Nils Güttler, Niki Rhyner, Mathias Grote, Fabian Grütter, Tobias Scheidegger, Martina Schlünder, u. a. 2020. *Gegen|Wissen*. cache 01. Zürich: intercomverlag.
- Stecher, Thorsten, Reg. 2021. «Zombieviren und CO₂: Gefahren aus dem tauenden Permafrost». Einstein. *Schweizer Radio und Fernsehen*. <https://www.srf.ch/play/tv/einstein/video/zombieviren-und-co-gefahren-aus-dem-tauenden-permafrost?urn=urn:srf:video:5dddfe3-5a47-437a-ac73-58e8bcef5254> (zugegriffen: 19. November 2024).

- Stoffel, Lukas. 1995. «Bautechnische Grundlagen für das Erstellen von Lawinenverbauungen im alpinen Permafrost». *Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung* 52. Davos.
- Tanner, Jakob. 1988. «Die Chemiekatastrophe von <Schweizerhalle> und ihr Widerhall in der schweizerischen Umweltpolitik». *Österreichische Zeitschrift für Politikwissenschaft* 17, Nr. 1: 17–32.
- . 2015. *Geschichte der Schweiz im 20. Jahrhundert*. Europäische Geschichte im 20. Jahrhundert. München: Verlag C.H. Beck.
- Thomas, Julia Adeney. 2014. «History and Biology in the Anthropocene: Problems of Scale, Problems of Value». *The American Historical Review* 119, Nr. 5: 1587–1607.
- Versteeg, Dick. 1987. «Spektakuläre Lösung des Abwasserproblems». *Schweizer Ingenieur und Architekt* 105, Nr. 30–31 (Juli): 917–918. <https://doi.org/10.5169/SEALS-76670>.
- Vonder Mühl, Daniel und Wilfried Haerberli. 1990. «Thermal Characteristics of the Permafrost within an Active Rock Glacier (Murtèl/Corvatsch, Grisons, Swiss Alps)». *Journal of Glaciology* 36, Nr. 123: 151–158. <https://doi.org/10.3189/S0022143000009382>.
- Weart, Spencer R. 2008. *The Discovery of Global Warming*. Revised and Expanded ed. Cambridge MA: Harvard University Press.
- West, Michael. 1995. «Die Fernseh-Forscher». *Brückenbauer*, 12. April 1995.
- Westermann, Andrea. 2020. «A Technofossil of the Anthropocene: Sliding Up and Down Temporal Scales with Plastic». In: *Power and Time: Temporalities in Conflict and the Making of History*, hg. von Dan Edelstein, Stefanos Geroulanos, und Natasha Wheatley, 122–144. Chicago IL: The University of Chicago Press. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226706016.001.0001>.
- Wight, Philip A. 2023. «“Blue-Eyed Arabs” & the Silver Snake: Alaskan Petrocultures and the Trans-Alaska Pipeline System». *Journal of Energy History/Revue d'Histoire de l'Énergie*, Nr. 10 (September).
- Wüstholtz, Florian. 2024. «Ein Dorf trotz der Natur». *Republik*, 15. Juli 2024. <https://www.republik.ch/2024/07/15/ein-dorf-trotz-der-natur> (zugegriffen: 18. November 2024).
- Zeller, Jürg und Gerhard Röthisberger. 1988. «Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1987». *Wasser Energie Luft* 80, Nr. 1–2: 29–42. <https://doi.org/10.5169/SEALS-940693>.
- Zimmermann, Markus. 1990. «Debris flows 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects». In: *Hydrology in Mountainous Regions II: Artificial Reservoirs; Water and Slopes (Proceedings of two Lausanne Symposia, August 1990)*, hg. von Richard O. Sinniger und Michel Monbaron, 194: 387–393. IAHS Publication. Lausanne.
- Zimmermann, Markus und Wilfried Haerberli. 1992. «Climatic Change and Debris Flow Activity in High-Mountain Areas: A Case Study in the Swiss Alps». In: *Greenhouse-Impact on Cold-Climate Ecosystems and Landscapes: Selected papers of the European Conference on Landscape Ecological Impact of Climatic Change, Lunteren, The Netherlands, December 3-7, 1989*, hg. von M. Boer und E. Koster, 22: 59–72. Catena Supplement. Cremlingen-Destedt: Catena.
- Zimmermann, Markus, Peter Mani, Patrick Gamma, Peter Gsteiger, Olivier Heiniger und Gabi Hunziker. 1997. *Murganggefahr Und Klimaänderung - Ein GIS-Basierter Ansatz*. NFP 31 Schlussbericht. Zürich: Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Zumbühl, Heinz J. 1980. *Die Schwankungen der Grindelwaldgletscher in den historischen Bild- und Schriftquellen des 12. bis 19. Jahrhunderts: Ein Beitrag zur Gletschergeschichte und Erforschung des Alpenraumes*. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 92. Basel, Boston: Birkhäuser.

PREPRINTS ZUR KULTURGESCHICHTE DER TECHNIK

BISHER ERSCHIENEN

- 1. BARBARA ORLAND:** Zivilisatorischer Fortschritt oder Kulturdeformation? Die Einstellung des Deutschen Kaiserreiches zur Technik. Paper entstanden nach einer Veranstaltung der Deutschen UNESCO-Kommission und des Hessischen Volkshochschulverbandes zu Jugendstil und Denkmalpflege, Bad Nauheim 1997. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 1.
- 2. PATRICK KUPPER:** Abschied von Wachstum und Fortschritt. Die Umweltbewegung und die zivile Nutzung der Atomenergie in der Schweiz (1960-1975). Lizentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei Prof. Dr. Hansjörg Siegenthaler, 1997. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 2.
- 3. DANIEL SPEICH:** Papierwelten. Eine historische Vermessung der Kartographie im Kanton Zürich des späten 18. und des 19. Jahrhunderts. Lizentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei PD. Dr. D. Gugerli, 1997. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 3.
- 4. DAVID GUGERLI:** Die Automatisierung des ärztlichen Blicks. (Post)moderne Visualisierungstechniken am menschlichen Körper. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 4.
- 5. MONIKA BURRI:** Das Fahrrad. Wegbereiter oder überrolltes Leitbild? Eine Fussnote zur Technikgeschichte des Automobils Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 5.
- 6. TOBIAS WILDI:** Organisation und Innovation bei BBC Brown Boveri AG 1970-1987. Lizentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei Prof. Dr. Hansjörg Siegenthaler, 1998. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1998 / 6.
- 7. DAVID GUGERLI:** Do accidents have mere accidental impacts on the sociotechnical development? Presentation at the Forum Engelberg, March 1999. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1999 / 7.
- 8. DANIEL SPEICH:** Die Finanzierung ausserordentlicher Arbeiten am Linthwerk. Historischer Bericht im Auftrag der Linthkommission. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1999 / 8.
- 9. ANGELUS EISINGER:** Die Stadt, der Architekt und der Städtebau. Einige Überlegungen zum Einfluss der Architekten und Architektinnen auf die Stadtentwicklung in der Schweiz in den letzten 50 Jahren, BSA Basel 24.06.1999. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 1999 / 9.
- 10. REGULA BURRI:** MRI in der Schweiz. Soziotechnische, institutionelle und medizinische Aspekte der Technikdiffusion eines bildgebenden Verfahrens. Studie im Rahmen des Projekts „Digitalizing the human body. Cultural and institutional contexts of computer based image processing in medical practice. The case of MRI in Switzerland“. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2000 / 10.
- 11. DANIEL KAUZ:** Wilde und Pfahlbauer. Facetten einer Analogisierung. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2000 / 11.
- 12. BEAT BÄCHI:** Diskursive und viskursive Modellierungen. Die Kernkraftwerk Kaiseraugst AG und die Ausstellung in ihrem Informationspavillon. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2001 / 12.

- 13. DANIELA ZETTI:** Three Mile Island und Kaiseraugst. Die Auswirkungen des Störfalls im US-Kernkraftwerk Harrisburg 1979 auf das geplante KKW Kaiseraugst. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2001 / 13.
- 14. PATRICK KUPPER:** From the 1950s syndrome to the 1970s diagnose. Environmental pollution and social perception: How do they relate? Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2001 / 14.
- 15. DAVID GUGERLI:** „Nicht überblickbare Möglichkeiten“. Kommunikationstechnischer Wandel als kollektiver Lernprozess 1960-1985. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2001 / 15.
- 16. BEAT BÄCHI:** Kommunikationstechnologischer und sozialer Wandel: „Der schweizerische Weg zur digitalen Kommunikation“ (1960 - 1985). Lizentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei Prof. Dr. David Gugerli, 2002. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2002 / 16.
- 17. DAVID GUGERLI:** The Effective Fiction of Internationality. Analyzing the Emergence of a Euro-pean Railroad System in the 1950s. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2003 / 17.
- 18. CARMEN BAUMELER:** Biotechnologie und Globalisierung: Eine Technikfolgenabschätzung. Li-zentiatsarbeit Universität Zürich. Eingereicht bei Prof. Dr. Volker Bornschie, 1999. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2003 / 18.
- 19. STEFAN KAUFMANN, DAVID GUGERLI und BARBARA BONHAGE:** EuroNets – EuroChannels – EuroVisions. Towards a History of European Telecommunication in the 20th Century: Thesis on a Research Strategy. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2004 / 19.
- 20. GISELA HÜRLIMANN:** „Die Eisenbahn der Zukunft“. Modernisierung, Automatisierung und Schnellverkehr bei den SBB im Kontext von Krisen und Wandel (1965-2000). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2006 / 20.
- 21. ANDREAS NEF und TOBIAS WILDI:** Informatik an der ETH Zürich 1948-1981. Zwischen Wissenschaft und Dienstleistung. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2007 / 21.
- 22. DANIELA ZETTI:** Personal und Computer. Die Automation des Postcheckdienstes mit Computern. Ein Projekt der Schweizer PTT. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2008 / 22.
- 23. DANIEL SPEICH:** Technokratie und Geschichtlichkeit. Zum postkolonialen Entwicklungsdiskurs von Walt W. Rostow und Simon Kuznets. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2008 / 23.
- 24. PATRICK KUPPER:** Neue Kernkraftwerke für die Schweiz? Welche Erkenntnisse lassen sich aus Verfahren der Vergangenheit gewinnen? Preprints zur Kulturgeschichte der Technik / 2009 / 24.
- 25. HANNES MANGOLD:** Zur Kulturgeschichte des Polizeicomputers. Fiktionale Darstellungen der Rechenanlage im Bundeskriminalamt bei Rainald Goetz, F.C. Delius und Uli Edel. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2014 / 25.
- 26. LUCAS FEDERER:** Self-Scanning-Systeme im Schweizer Detailhandel. Implementierungsprozess im Spannungsfeld zwischen spätmoderner Konsumkultur und gesamtgesellschaftlichen Rationalisierungstendenzen. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2014 / 26.
- 27. LUZIUS HAUSAMMANN:** Der Beginn der Informatisierung im Kanton Zürich. Von der Lochkartenstelle im Strassenverkehrsamt zur kantonalen EDV-Stelle (1957-1970). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2014 / 27.

- 28. JOSEF EGGER:** Die Genesis eines alternativen Telekomanbieters im Gleichschritt zur schweizerischen Telekomliberalisierung. Einige Erinnerungen eines Beteiligten zum Aufbau von Sunrise (1994-2000). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2015 / 28.
- 29. NICK SCHWERY:** Die Maschine regieren. Computer und eidgenössische Bundesverwaltung, 1958-1965. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2018 / 29.
- 30. DAVID GUGERLI, DANIELA ZETTI:** Digitale Gesellschaft (Rohfassung). Beitrag zum Historischen Lexikon der Schweiz (2018). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2018 / 30.
- 31. RACHELE DELUCCHI:** Tastend im Raum. Telegrafie am Gotthard, ca. 1860. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2018 / 31.
- 32. NIKI RHYNER:** Kalte und warme Milchflüsse. Über pasteurisierte Milch in Zürich, 1950-1965. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2018 / 32.
- 33. DAVID GUGERLI, DANIELA ZETTI:** Computer history – The pitfalls of past futures. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2019 / 33.
- 34. RACHELE DELUCCHI:** Eine Nischenangelegenheit. Zur Geschichte der Stadtrohrpost in der Schweiz (ca. 1920-1927). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2020 / 34.
- 35. Stephan Graf:** Achsenkreuzungen. Bildgeschichte als Technikgeschichte und umgekehrt. Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2021 / 35.
- 36. Julius Schmid:** Von austauschbaren Physikern, Zukunftsmaschinen und flexiblen Computern. Eine technikhistorische Textanalyse von Tim Berners-Lees Information Management (1989/1990). Preprints zur Kulturgeschichte der Technik 2023/36.