

Reconstructing paleoclimate and landscape history in Antarctica and Tibet with cosmogenic nuclides

Doctoral Thesis

Author(s):

Oberholzer, Peter

Publication date:

2004

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004830139>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS ETH NO. 15472

**RECONSTRUCTING PALEOCLIMATE
AND LANDSCAPE HISTORY
IN ANTARCTICA AND TIBET
WITH COSMOGENIC NUCLIDES**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

For the degree of
Doctor of Sciences

presented by
PETER OBERHOLZER

dipl. Natw. ETH

born 14. 08. 1969

citizen of

Goldingen SG and Meilen ZH

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Rainer Wieler, examiner

Prof. Dr. Christian Schlüchter, co-examiner

Prof. Dr. Carlo Baroni, co-examiner

Dr. Jörg M. Schäfer, co-examiner

Prof. Dr. Philip Allen, co-examiner

Summary

The main goal of this thesis was to reconstruct parts of the glacial history in two regions that are outstanding on the Earth regarding their climate, relief and position: Antarctica and Tibet. The approach chosen to achieve this was to date distinct landscape elements of glacial origin and make conclusions about the climate events related to their formation. With surface exposure dating using cosmogenic nuclides a technique was applied that has proven to be highly suitable for dating glacial features in cold and arid regions.

Antarctica

In Antarctica, glacial features were studied in the Dry Valleys of McMurdo and in the Terra Nova Bay area of Northern Victoria Land.

The ice of Ferrar Glacier, one of the large outlet glaciers of the East Antarctic Ice Sheet (EAIS), reached its maximum position of 125 m above the present level in Vernier Valley 3.4 Ma BP. It retreated continuously, with stagnation phases or re-advances at 1 Ma BP and 440 ka BP. These minimal local variations of the ice surface are extrapolated towards nearby Taylor Dome, indicating minimal volume fluctuation of the EAIS since the Pliocene.

The floor of Beacon Valley is covered by a till layer that covers remnants of ancient ice. Erratics from the surface yielded an exposure age of 2.6 Myr. Since then, the valley bottom was not reworked. This is a minimum age for the buried ice. Samples excavated from the ice shed light on the evolution of the ice-level in Beacon Valley. The comparison of the measured nuclide concentration with the shielding depth of buried samples indicates that the ice must have been substantially thicker at the time of deposition. Its thinning occurred continuously by sublimation and not as a collapse.

In order to test the validity of paleoclimatic findings from the Dry Valleys for other regions of Antarctica, glaciogenic surfaces in Northern Victoria Land were investigated. Exposure ages from near the coast of Terra Nova Bay region imply that ice receded from the mountains near the coast more than 5 Ma ago. Subsequent fluctuations of the ice volume in the valleys have occurred, but were of limited extent.

A very similar picture emerges from datings of ancient dolerite surfaces from nunataks on the inner side of the Transantarctic Mountains. These prove that the volume variations of the EAIS were very small since 3.3 Myr.

The results from the Dry Valleys and Northern Victoria Land are consistent with each other. They strongly indicate that the Antarctic climate that was constantly cold since at least the late Pliocene. This stability was characteristic not only for Southern Victoria Land, but also further north.

Tibet

The second main focus of this work is the Tibetan Himalaya. It is not clear what the forcing climate mechanism of Tibetan glaciers advances is. In order to assess the relative influence of the Indian Monsoon and the North Atlantic climate on the glaciation of Tibet, the monsoonal area of Nyalam is investigated. A sequence of large and old-looking moraines was deposited more than 180 ka ago. On the same moraines, a cluster of apparently younger erratics indicates that strong denudation and moraine degradation took place between 48 and 65 ka BP, a phase of intensified Indian Monsoon.

A second Nyalam moraine set testifies for an influence of North Atlantic climate signals on Tibetan glaciations. During the global glacial maximum in MIS 2, glaciers in Nyalam advanced to a limited extent. A second advance was dated to 10.6 ± 0.4 ka BP, which is consistent with the Younger Dryas cold interval. The limited amplitude of these glaciations is explained with three arguments: a reduced monsoon activity during cold phases, the large distance to the moisture source of the oceans and with high-altitude effects.

Both moraine sequences hence indicate that the monsoon is of minor importance for triggering glacial advances in the Tibetan Himalaya. Instead, it seems very likely that Tibetan glaciers advanced in phase with the ice sheets of the Northern hemisphere during Late Pleistocene.

Surface exposure dating

With a large set of samples from Antarctica it is demonstrated that the degassing pattern of noble gases from Pyroxene in stepwise heating is strongly dependent on the elemental composition of the mineral. It is shown that – unlike previously assumed – cosmogenic neon can be released in substantial amounts below 850 °C. The percentage is inversely proportional to the Mg content. Furthermore, it is likely that cosmogenic helium is not necessarily retained quantitatively in pyroxene. In order to separate cosmogenic from non-cosmogenic noble gas fractions and obtain a reliable helium measurement, the type of pyroxene that is analysed has to be determined and accurately separated from others occurring in the sample.

In a pilot study using shielded samples from erratic boulders, the utility of such control samples to assess pre-exposure irradiation was tested. Together with a simple irradiation model, shielded samples allow to detect exposition prior to the deposition of a boulder and to roughly quantify it.

Zusammenfassung

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Teil der Gletschergeschichte der Antarktis und Tibets zu rekonstruieren. Diese beiden Gegenden sind einzigartig, was

ihr Klima, ihr Relief und ihre Position auf der Erde betrifft. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden Landschaftsformen datiert, welche deutlich glazialer Herkunft sind. Aus ihrem Alter wird auf das klimatische Ereignis geschlossen, das zum entsprechenden Gletschervorstoss geführt hat. Die verwendete Datierungstechnik, Oberflächen-Altersbestimmung mit kosmogenen Nukliden, hat sich als zuverlässiges Werkzeug zur Datierung von Gletscherrückzügen in kalten und ariden Gebieten bewährt.

Antarktis

In der Antarktis wurden glazigene Oberflächen in den Trockentälern von McMurdo und in der Region der Terra Nova-Bucht in Nord-Viktorialand untersucht.

Das Eis des Ferrar-Gletschers, einem der grossen Ausfluss-Gletscher des ostantarktischen Eisschildes (EAIS), erreichte seinen Höchststand im Vernier Valley 3.4 Ma vor heute. Es reichte 125 m höher als heute. Sein Rückzug war kontinuierlich und nur von zwei Stagnationsphasen oder erneuten Vorstössen vor 1 Ma und vor 440'000 Jahren unterbrochen. Diese geringen Schwankungen der Eisoberfläche lassen sich extrapolieren auf den Taylor-Dom, was minimale Volumenänderungen des ostantarktischen Eisschildes anzeigt.

Der Talboden von Beacon Valley wird gebildet von einem Moränenschleier, unter dem Überreste von altem Eis begraben sind. Blöcke aus dieser Moränenschicht ergaben ein Mindestalter von 2.6 Myr. Seither wurde der Talboden nicht mehr umgestaltet. Gesteinsproben aus dem begrabenen Eis erlauben Rückschlüsse auf die Geschichte des Eisstandes im Beacon Valley. Vergleicht man die gemessenen Nuklid-Konzentrationen mit der momentanen Abschirmung durch die Moräne, so zeigt sich, dass das Eis in der Vergangenheit deutlich dicker gewesen sein muss. Es ist kontinuierlich dünner geworden, also nicht durch ein kollaps-ähnliches Ereignis, sondern durch stetige Sublimation.

Um die Gültigkeit von paläoklimatischen Erkenntnissen aus den Dry Valleys für andere Regionen der Antarktis zu testen, wurden gletscherüberprägte Oberflächen in Nord-Viktorialand untersucht. Expositionsalter aus küstennahen Gebieten im Bereich der Terra Nova-Bucht legen nahe, dass die Berge dort seit mehr als 5 Myr eisfrei sind. Es gab zwar spätere Schwankungen der Gletscher, aber sie waren von beschränktem Ausmass.

Ein ganz ähnliches Bild ergibt sich aus Datierungen von Dolerit-Oberflächen auf der Innenseite des transantarktischen Gebirges. Diese belegen, dass die Volumenänderungen des ostantarktischen Eisschildes seit mindestens 3.3 Myr sehr klein waren.

Die Ergebnisse aus diesen zwei Gebieten sind konsistent miteinander. Sie belegen, dass das Klima der Antarktis seit dem oberen Pliozän permanent kalt war. Dies war nicht nur in Süd-Viktorialand der Fall, sondern auch nördlich davon.

Tibet

Das zweite Hauptaugenmerk dieser Arbeit lag auf dem tibetischen Himalaya. Es ist nicht ganz klar, welcher Klima-Mechanismus die Gletscher in Tibet wachsen lässt. Um die

Anteile des indischen Monsuns einerseits und des nordatlantischen Klimas andererseits an der Bestimmung des Klimaverlaufs abzuschätzen, wurde das vom Monsun geprägte Gebiet um Nyalam untersucht. Eine Sequenz von grossen, verwittert erscheinenden Moränen wurde vor mehr als 180'000 Jahren abgelagert. Die scheinbaren Alter von vier Blöcken derselben Moränen liegen eng beieinander zwischen 48'000 und 65'000 Jahren. Dies wird als Hinweis interpretiert, dass der in jener Zeit verstärkte Monsun durch vermehrte Niederschläge die Moränen stark abgetragen hat.

Weitere Moränen aus derselben Gegend belegen, dass Klimasignale aus der Region des Nordatlantiks auch in Tibet wirksam sind. Während dem globalen Gletscher-Maximum der Sauerstoff-Isotopenstufe 2 stiessen die Gletscher in Nyalam vor, wenn auch in begrenztem Mass. Ein zweiter kleinerer Vorstoss vor $10'600 \pm 400$ Jahren stimmt zeitlich mit der Kaltzeit der Jüngeren Dryas überein. Das begrenzte Ausmass dieser beiden Vorstösse scheint drei Gründe zu haben: die reduzierte Stärke des Indischen Monsuns während dieser beiden Kaltphasen, die grossen Distanz zur Feuchtigkeitsquelle der Ozeane und Hochgebirgs-Effekte.

Die Alter beider Moränensequenzen weisen übereinstimmend darauf hin, dass der Monsun keine bestimmende Kraft in der Auslösung von Vergletscherungen im tibetischen Himalaya ist. Stattdessen scheinen sich die Gletscher im späten Pleistozän zeitgleich mit den Eisschilden der Nordhemisphäre ausgedehnt zu haben.

Oberflächen-Datierung

Mit einem umfangreichen Datensatz aus der Antarktis wird gezeigt, dass das Entgasmuster von Edelgasen aus Pyroxenen während des schrittweisen Heizens stark von der Zusammensetzung des Minerals abhängt. Anders als bisher angenommen können beträchtliche Mengen an kosmogenem Neon schon unterhalb von 850°C freigesetzt werden. Der Anteil ist proportional zum Mg-Gehalt. Weiter ist es wahrscheinlich, dass kosmogener Helium nicht immer vollständig in Pyroxenen zurückgehalten wird. Um kosmogene und nicht-kosmogene Neon-Anteile zu trennen und eine verlässliche Helium-Menge zu erhalten, sollte das Pyroxen-Mineral, das analysiert wird, vor der Messung genau bestimmt und separiert werden.

In einer Pilotstudie mit abgeschirmten Proben von Erratikern wurde die Nützlichkeit solcher Kontroll-Proben zur Identifizierung von Vorbestrahlung getestet. Werden sie mit Modellrechnungen der kosmischen Einstrahlung an der genauen Probenstelle kombiniert, so kann Vorbestrahlung festgestellt und ihre Dauer abgeschätzt werden.