

<b>Zeitschrift:</b>	Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern
<b>Herausgeber:</b>	Geographische Gesellschaft Bern
<b>Band:</b>	61 (2003)
<b>Artikel:</b>	Seespiegelschwankungen und Paläoböden als Zeugnisse langfristiger Klimaveränderungen in den zentralen Anden
<b>Autor:</b>	Veit, Heinz / Grosjean, Martin
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-960312">https://doi.org/10.5169/seals-960312</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 30.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Seespiegelschwankungen und Paläoböden als Zeugnisse langfristiger Klimaveränderungen in den zentralen Anden

HEINZ VEIT, MARTIN GROSJEAN



## Einleitung

Hochgebirge reagieren sensibel auf klimatische Veränderungen. Dies ist im Wesentlichen eine Folge des ausgeprägten Reliefs, der damit zusammenhängenden intensiven Morphodynamik und der vertikalen Gliederung in Höhenstufen. In den zentralen Anden Südamerikas (Chile, Argentinien) kommt noch ein weiterer Aspekt hinzu: die grosse Aridität und die Lage im Übergangsbereich zwischen der Westwindzirkulation mit Winterniederschlägen im Süden und der subtropisch-tropischen Zirkulation mit Sommerniederschlägen auf dem Altiplano und der östlichen Andenabdachung. Dadurch machen sich kleinste Variationen der atmosphärischen Zirkulation in Niederschlagsänderungen bemerkbar. Die Verfügbarkeit der in diesem Raum knappen Ressource Wasser hat für Millionen von Menschen existentielle Bedeutung, teilweise bis weit in die Tiefländer, sowohl auf der argentinischen Seite als auch in der chilenischen Atacamawüste. Wie veränderlich ist der Wasserhaushalt langfristig und wodurch werden Niederschlagsschwankungen und letztlich Klimaänderungen gesteuert? Die Untersuchung geeigneter Klimaarchive kann zur Lösung dieser Frage beitragen (VEIT 2000). Zwei dieser Archive sollen im Folgenden vorgestellt werden. Einerseits handelt es sich um Seen, die unmittelbar auf ein verändertes Niederschlagsangebot reagieren. Von Interesse sind hierbei vor allem die geochemisch-limnologischen Veränderungen und die Volumenänderungen des Wasserkörpers und damit der Seespiegel. Andererseits liefern Wechsellagerungen von äolischen Sedimenten (Löss) mit eingeschalteten Verwitterungshorizonten (Paläoböden) einen deutlichen Hinweis auf ein unterschiedliches Feuchteangebot der Vergangenheit.

Im Folgenden werden exemplarisch Ergebnisse in zwei unterschiedlichen Zeitskalen vorgestellt: a) die letzten 1.1 Mio. Jahre (Löss-Paläoboden-Sequenz in NW-Argentinien), b) die letzten 20'000 Jahre (Seespiegel auf dem chilenischen Altiplano).

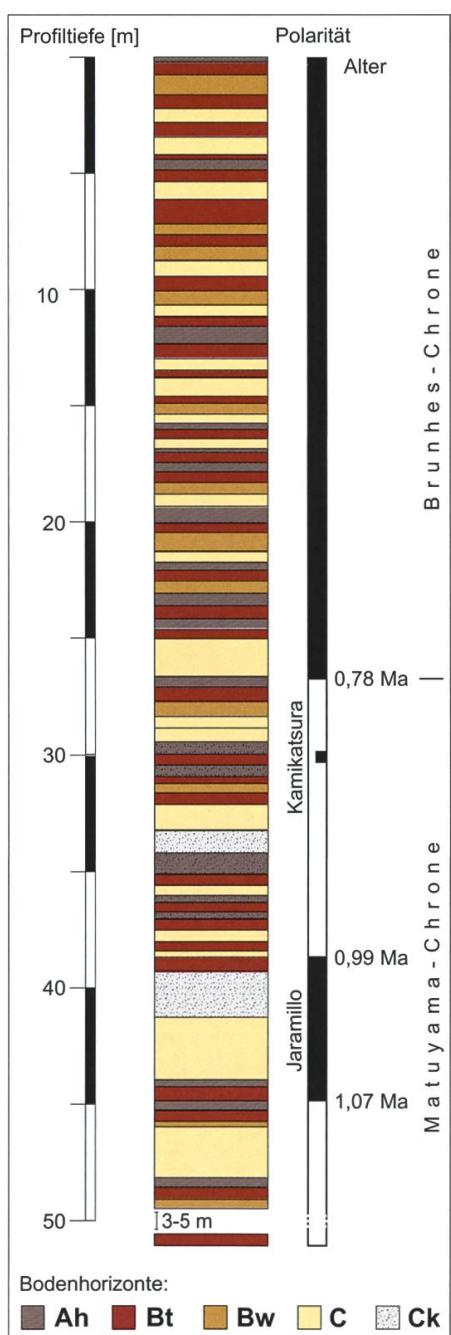
## Paläoböden in Valle de Tafí, NW-Argentinien: ein Umweltarchiv der letzten 1.1 Mio. Jahre

Im intramontanen Becken Valle de Tafí in der Provinz Tucumán in NW-Argentinien sind in rund 1900-2400 m ü.M. mächtige Lössablagerungen erhalten, die durch eingeschaltete Verwitterungshorizonte ein einmaliges Langfrist-Klimaarchiv für Südamerika südlich des Äquators darstellen (Fig. 1). In den mehr als 50 m mächtigen äolischen Sedimenten bei Las Carreras belegen 31 fossile Böden eine zyklische Klimaentwicklung mit grossen Variationen der Umweltbedingungen seit dem Altquartär (Fig. 2). Trockene Phasen mit Deflation im argentinischen Tiefland (Chaco, Pampa) und simultaner Lössakkumulation in dem als Sedimentfalle fungierenden Becken wechselten mit feuchteren Bodenbildungsphasen ab. Von den Paläoböden sind in der Regel die Bt-Horizonte, vielfach im Verbund mit den humosen A-Horizonten und weiteren Unterbodenhorizonten (z.B. Kalkanreicherungshorizonte, Cc) erhalten. Dies weist auf stabile Landoberflächen mit dichter Vegetation während der Bodenbildungsphasen hin.



Fig. 1: «Las Carreras», Valle de Tafí, NW-Argentinien. Lössprofil mit 31 Paläoböden und Detailaufnahme mit Bt- und Cc-Horizont (Aufnahme: A. Schellenberger, Sept. 2000)

Mit paläomagnetischen Methoden konnte für die Löss-Paläoboden-Sequenz Las Carreras ein basales Mindestalter von 1.15 Mio. Jahren ermittelt werden (Fig. 2; SCHELLENBERGER et al. 2003). Die durchschnittliche Depositionsrate verringerte sich während des Ablagerungszeitraums von 6.3 cm pro Jahrtausend vor 780'000 Jahren (Matuyama-Brunhes-Grenze) auf 3.4 cm pro Jahrtausend innerhalb der Brunhes-Chrone. Betrachtet man die Anzahl Böden in den unterschiedlichen (Sub-) Chronen, so erhält man mittlere Bodenbildungszyklen von rund 26'000 bzw. 40'000 Jahren. Damit könnte eine orbitale Steuerung des langfristigen Niederschlagsgeschehens in NW-Argentinien angedeutet sein, was aber spekulativ bleiben muss, solange keine genaueren Datierungen der einzelnen Böden vorliegen. Aber die langfristigen Änderungen der effektiven Feuchte, die in Zusammenhang mit der Variabilität des Südamerikanischen Sommermonsuns stehen, sind offensichtlich.



Die Bodenhorizonte sind nicht über das ganze Profil hindurch einheitlich ausgebildet. Ab der Jaramillo Subchrone bis vor etwa 700'000 Jahren sind durch die geringmächtigen und relativ schwach ausgebildeten Bt-Horizonte sowie durch das Auftreten von Kalkanreicherungshorizonten (Cc-Horizonte) und Löss-Kindel etwas trockenere Verhältnisse (semihumid) während den Bodenbildungsphasen belegt. Die erhöhte Trockenheit vor der Brunhes-Chrone wird damit sowohl durch die Böden als auch durch die höhere Depositionsrate während der Lössakkumulation angezeigt. Im gleichen Zeitraum sind weltweit markante Veränderungen im Klimasystem bemerkbar. Während dieser sogenannten «Mid-Pleistocene Climate Transition» sind entsprechende Wechsel beispielsweise auch im chinesischen Löss (HESLOP et al. 2002) oder in Tiefseesedimenten (SCHMIEDER et al. 2000) festzustellen. Geomorphologische Studien an holozänen Paläosee- und Hangsedimenten in Valle de Tafí zeigen weiterhin, dass den langfristigen Klimavariationen in den vergangenen 10'000 Jahren höherfrequente Schwankungen geringerer Amplitude überlagert waren.

Das Löss-Profil Las Carreras in Valle de Tafí erlaubt erstmals eine Rekonstruktion der Variabilität des Südamerikanischen Sommermonsuns und der damit einhergehenden Umweltveränderungen in NW-Argentinien. Die nachgewiesenen hygrischen Schwankungen übertreffen die historischen Niederschlagsfluktuation bei weitem.

Fig. 2.: Magnetostatigraphie und Paläoböden des Profiles «Las Carreras» in Valle de Tafí, NW-Argentinien (verändert nach SCHELLENBERGER et al. 2003)

## Seespiegelschwankungen der Laguna Miscanti seit dem LGM

In den trockenen Anden Nordchiles gibt es eine grosse Zahl abflussloser Becken und Salare. Strandterrassen und geochemische Untersuchungen an Seesedimenten belegen eine wechselvolle Geschichte des Wasserhaushaltes in dieser extremen Hochgebirgs-wüste, wie es beispielhaft an der Laguna Miscanti gezeigt werden kann (Fig. 3, Fig. 4). Demzufolge war das Klima zum Höhepunkt der letzten Kaltzeit (LGM) vor rund 20'000  $^{14}\text{C}$ -Jahren noch arider als heute und viele der Seen waren sogar völlig ausgetrocknet. Das änderte sich im Spätglazial, als zwischen ca. 12'000-8'000  $^{14}\text{C}$ -Jahren v.h. auf dem Altiplano Frischwasserseen mit Wassertiefen bis zu 70 m existierten (GROSJEAN 1994; GROSJEAN et al. 2001). Dabei haben die Seeflächen auf das 5- bis 10-fache zugenommen. Die Jahresniederschläge stiegen in der heute ariden Hochgebirgs-wüste von 200 mm auf mehr als 500 mm an, Verhältnisse, wie sie danach nie mehr erreicht wurden. Da nach Süden zu diese klaren Hinweise auf die spätglazial/holozäne Feuchtphase aussetzen und wegen des hohen Anteiles von Fernflugpollen aus der östlichen Andenabdachung in den limnischen Sedimenten und da sommerblühende Pflanzen vorherrschten (BETANCOURT et al. 2000), muss der Ursprung der gesteigerten Niederschläge in tropischen Sommer-niederschlägen, also letztlich im tropisch-kontinentalen Südamerika (Amazonasgebiet, Chaco), im Atlantik oder sogar auf der Nordhemisphäre liegen.

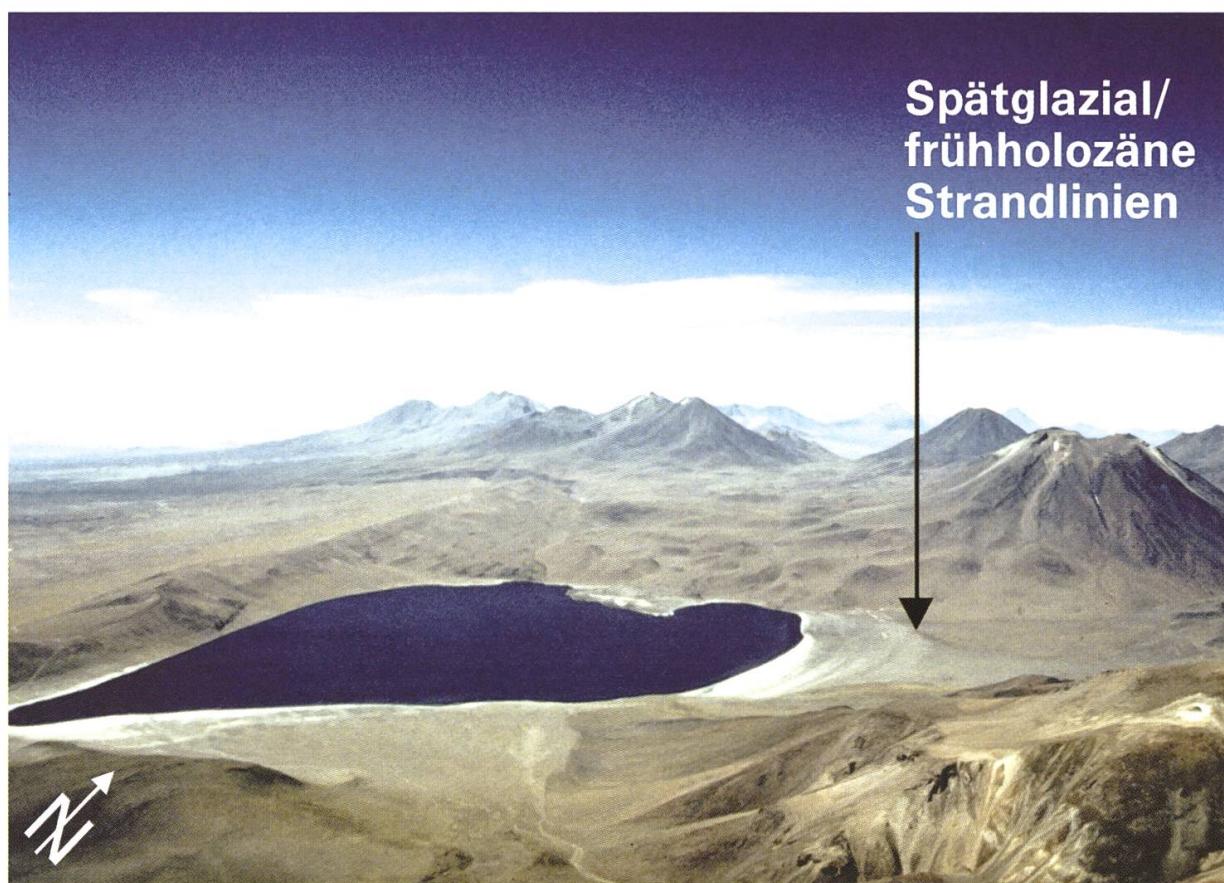


Fig. 3: Laguna Miscanti, Altiplano, Chile, mit Paläo-Strandlinien (Aufnahme: Ch. Kull, Nov. 1995)

Die erhöhte Feuchte führte im Spätglazial auch zur Ausbildung von kilometerlangen Talgletschern in Gebieten in denen rezent, wegen der grossen Trockenheit, keine Gletscher existieren können, trotz sehr niedriger Temperaturen. Die Gletscherschneegrenze war damals grossflächig um mehr als 1000 m gegenüber heute abgesunken. Gletscher-Klima-Modellierungen legen während des Hochstandes eine Erhöhung der Jahresniederschläge von derzeit 250 mm auf maximal 1250 mm nahe, bei einer Reduktion der Jahresmitteltemperaturen um 3 °C (KULL 1999, KULL et al. 2002).

Sehr markant ist dann das erneute drastische Austrocknen im Mittelholozän zwischen ca. 8'000-4'000  $^{14}\text{C}$ -Jahren v.h., was fast alle Seen auf dem Altiplano betraf (GROSJEAN et al. 2003). In den Eisbohrkernen vom Sajama, an der chilenisch-bolivianischen Grenze (18°S), ist die mittelholozäne Trockenphase durch sehr hohe Staubeinträge gekennzeichnet (THOMPSON et al. 1998). Erst um 3'600  $^{14}\text{C}$ -Jahre v.h. stellten sich dann nach und nach die aktuellen hygrischen Verhältnisse ein. Archäologische Funde weisen in die gleiche Richtung. Die ersten Jäger trafen auf dem chilenischen Altiplano kurz nach Beginn der spätglazialen Feuchtperiode, um 10'800  $^{14}\text{C}$ -Jahre v.h. ein (NUÑEZ et al. 2002). Das Ende der ersten Siedlungsphase fällt mit dem Ende der Feuchtphase vor 8'000 Jahren zusammen. Danach nehmen die archäologischen Hinweise auf eine Besiedlung des trockenen Altiplano rapide ab. In der langen Trockenphase hat sich die indianische Bevölkerung immer wieder auf ökologische Gunststandorte – z.B. in die Quebrada Puripica bei San Pedro de Atacama – zurückgezogen (GROSJEAN et al. 1997, GROSJEAN 2001). Erst im Jungholozän haben sich dann die heutigen Klimaverhältnisse und Seespiegel eingestellt.

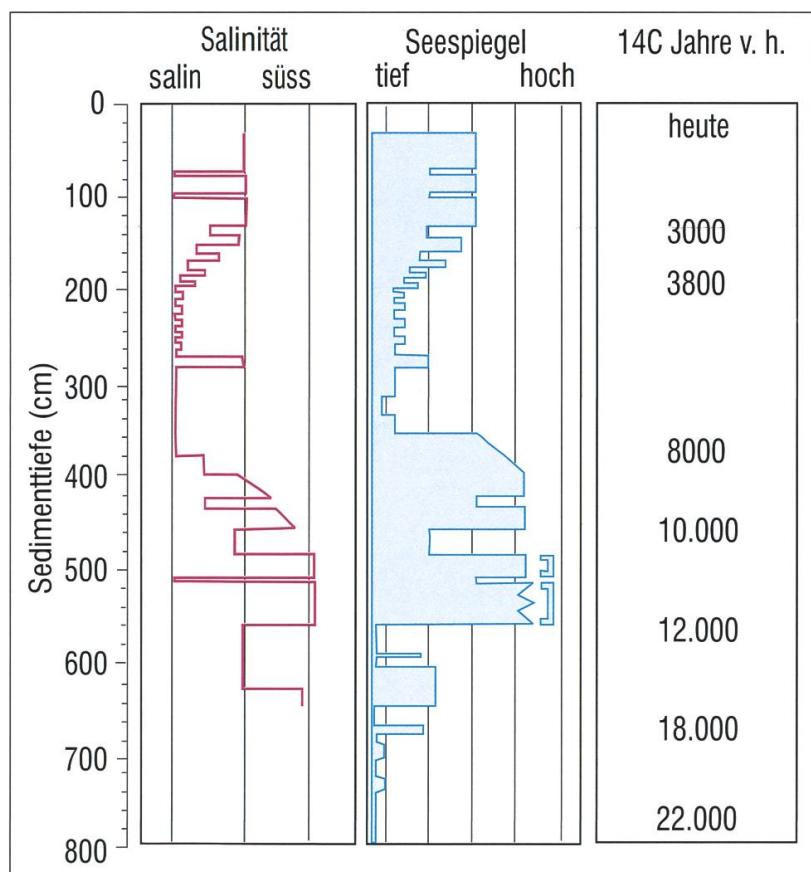


Fig. 4: Schwankungen der Seespiegel und der Salinität der Laguna Miscanti (Chile) seit dem LGM (GROSJEAN et al. 2001)

## Schlussfolgerungen

Paläoböden und Seen in den zentralen Anden sind hervorragende Archive zur Rekonstruktion klimatischer Änderungen der Vergangenheit. Sie belegen die Sensitivität dieses arid-semiariden Hochgebirgsraumes gegenüber Umweltveränderungen unterschiedlicher Frequenz und Intensität. Die Ergebnisse veranschaulichen damit auch das fragile Gleichgewicht, in dem sich die Natur- und Wirtschaftsräume der zentralen Andenländer gegenwärtig befinden.

### Literatur

- BETANCOURT, J.L., LATORRE, C., RECH, J.A., QUADE, J. und RYLANDER, K.A., 2000: A 22,000-year record of monsoonal precipitation from Northern Chile's Atacama Desert. *Science* 289, 1542-1546.
- GROSJEAN, M., 1994: Paleohydrology of the Laguna Lejia (north Chilean Altiplano) and climatic implications for late-glacial times. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109, 89-100.
- GROSJEAN, M., 2001: Mid-Holocene Climate in the South-Central Andes: Humid or Dry? *Science* 292, 2391.
- GROSJEAN, M., L. NUÑEZ, I. CARTAJENA, und B. MESSERLI, 1997: Mid-Holocene climate and culture change in the Atacama desert, northern Chile. *Quaternary Research* 48, 239-246.
- GROSJEAN, M., VAN LEEUWEN, J.F.N., VAN DER KNAAP, W.O., GEYH, M.A., AMMANN, B., TANNER, W., MESSERLI, B. und VEIT, H., 2001: A 22,000  $^{14}\text{C}$  yr BP sediment and pollen record of climate change from Laguna Miscanti 23°S, northern Chile. *Global and Planetary Change*, 28 (1-4), 35-51.
- GROSJEAN, M., CARTAJENA, I., GEYH, M.A., NUÑEZ, L.A., 2003: From proxy-data to paleoclimate interpretation: The mid-Holocene paradox of the Atacama Desert, northern Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194 (1-3), 247-258.
- HESLOP, D., DEKKERS, M.J. und LANGEREIS, C.G., 2002. Timing and structure of the mid-Pleistocene transition: records from the loess deposits of northern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185(1-2): 133-143.
- KULL, C., 1999: Modellierung paläoklimatischer Verhältnisse, basierend auf der jungpleistozänen Vergletscherung – ein Beispiel aus den nordchilenischen Anden. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 35 (1), 35-64.
- KULL, C., M. GROSJEAN und H. VEIT, 2002: Modelling Modern and Late Pleistocene glacio-climatological conditions in the North Chilean Andes (29°S - 30°S). *Climate Change*, 53 (3), 359-381.
- NUÑEZ A.L., GROSJEAN, M. und CARTAJENA, I., 2002: Human Occupations and Climate Change in the Puna de Atacama, Chile. *Science* 298, 821-824..
- SCHELLENBERGER, A., F. HELLER und H. VEIT, 2003: Magnetostratigraphy and magnetic susceptibility of the Las Carreras loess-paleosol sequence in Valle de Tafí, Tucumán, NW-Argentina. *Quaternary International*, 106/107, 159-167.
- SCHMIEDER, F., VON DOBENECK, T. und BLEIL, U., 2000. The Mid-Pleistocene climate transition as documented in the deep South Atlantic Ocean: initiation, interim state and terminal event. *Earth and Planetary Science Letters*, 179: 539-549.
- THOMPSON, L.G., M.E. DAVIS, E. MOSLEY-THOMPSON, T.A. SOWERS, K.A. HENDERSON, V.S. ZAGORODNOV, P.-N. LIN, V.N. MIKHALENKO, R.K. CAMPEN, J.F. BOLZAN, J. COLE-DAI und B. FRANCOU, 1998: A 25,000-Year Tropical Climate History from Bolivian Ice Cores. *Science* 282, 1858-1864.
- VEIT, H., 2000: Klima- und Landschaftswandel in der Atacama. *Geographische Rundschau*, 52 (9), 4-9.

### Adresse der Autoren

Prof. Dr. Heinz Veit, Dr. Martin Grosjean, Geographisches Institut der Universität Bern, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern