

- (1996): Tree rings and environment: dendroecology. Bern.
- SCHWEINGRUBER, F. H.; FRITTS, H. C.; BRÄKER, O. U.; DREW, L. G. a. SCHAER, E. (1978): The X-ray technique as applied to dendroclimatology. In: *Tree-Ring Bulletin* 38, 61–91.
- SCHWEINGRUBER, F. H.; ECKSTEIN, D.; SERRE-BACHET, F. a. BRÄKER, O. U. (1990): Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. In: *Dendrochronologia* 8, 9–38.
- SCHWEINGRUBER, F. H.; WEHRLI, U.; AELLEN-RUMO, K. a. AELLEN, M. (1991): Weiserjahre als Zeiger extremer Standorteinflüsse. In: *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen* 142, 33–52.
- SCHWEINGRUBER, F. H.; KAIRIUKSTIS, L. a. SHIYATOV, S. (1992): Sample selection. In: COOK, E. R. a. KAIRIUKSTIS, L. (Eds.): *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht, 23–35.
- SCHWEINGRUBER, F. H. a. BRIFFA, K. R. (1996): Tree-ring density networks for climate reconstruction. In: JONES, P. D.; BRADLEY, R. S. a. JOUZEL, J. (Eds.): *Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years*. Berlin, 43–66.
- SHRODER, JR., J. F. (1980): Dendrogeomorphology: Review and new techniques of tree-ring dating. In: *Progress in Physical Geography* 4, 161–188.
- STOKES, M. A. a. SMILEY, T. L. (1968): *An introduction to tree ring dating*. Chicago.
- STAHL, D. W.; CLEAVELAND, M. K. a. HEHR, J. G. (1988): North Carolina climate changes reconstructed from tree rings: A.D. 372 to 1985. In: *Science* 240, 1517–1519.
- TREYDTE, K.; SCHLESER, G. H.; SCHWEINGRUBER, F. H. a. WINGER, M. (2001): The climatic significance of  $\delta^{13}C$  in subalpine spruce (Lötschental/Swiss Alps) – a case study with respect to altitude, exposure and soil moisture. In: *Tellus* (in press).
- WIGLEY, T. M. L.; BRIFFA, K. R. a. JONES, P. D. (1984): On the average of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. In: *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23, 201–213.

## DISKUSSION

### ANMERKUNGEN ZU SCHRÖDER, H. (1999): VERGLEICHENDE PERIGLAZIAL-MORPHOLOGIE IM SOMMERREGENGEBIET DER ATACAMA

Mit 1 Tabelle

BETTINA JENNY, KLAUS KAMMER und BRUNO MESSERLI

Im Artikel von HILMAR SCHRÖDER wird der glaziale und periglaziale Formenschatz Nordchiles in einen paläoklimatischen Zusammenhang gestellt. In diesem Raum liegt eine der trockensten Wüsten der Erde – die Atacama. Im Kern der Trockenzone sind selbst über 6000 m hohe Berge nicht vergletschert, weil der nötige Niederschlag fehlt. Jungpleistozäne Vergletscherungen weisen jedoch auf eine deutliche Intensivierung der Niederschläge hin. Dieser Frage ist seit mehreren Jahren eine Forschungsgruppe der Universität Bern (B. MESSERLI und H. VEIT) nachgegangen. Unsere Veröffentlichung „Climate Change in den trockenen Anden – Jungquartäre Vergletscherungen“ wird von SCHRÖDER mehrfach zitiert, inhaltlich aber leider nicht korrekt wiedergegeben. Dazu möchten wir einen kurzen Kommentar sowie noch einige weiterführende inhaltliche Bemerkungen geben.

In seinem Artikel nimmt SCHRÖDER auf Seite 120 zu unserer Publikation folgendermaßen Stellung: „Ein weiteres Anliegen der Untersuchungen ist es, [...] die fast ausschließlich auf Luftbildinterpretationen beruhenden Moränenstände von JENNY u. KAMMER (1996)

zu bestätigen oder zu verwerfen.“ Diese Formulierung impliziert eine große Unsicherheit der Resultate. Wir möchten aber darauf hinweisen, dass wir auf Seite 37 in Tabelle 7 unserer Publikation dargestellt haben, welche Testgebiete im Feld und/oder im Luftbild analysiert wurden (Tab. 1). Von 27 Testgebieten wurden 17 im Feld begangen. Von allen liegt im weiteren eine Luftbildkartierung vor. Somit beruhen unsere Auswertungen keineswegs „fast ausschließlich auf Luftbildinterpretation“, sondern bei der Mehrheit der Testgebiete auch auf Feldkartierungen und sind somit gut abgestützt. Es konnte gezeigt werden, dass in diesem heute ariden Raum eine starke Intensivierung der Niederschläge für die frühere Vergletscherung notwendig gewesen war.

Im weiteren möchten wir auf folgende Aussage SCHRÖDERS auf Seite 128 eingehen: „Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß flächendeckende Vereisungszeugen am Miñiques nicht vorhanden sind, die Angabe einer an Maximalvereisungen gebundenen letztglazialen Gletscherschneegrenze ist deshalb problematisch“. Hätte SCHRÖDER den Blick vom Cerro

Tabelle 1: Übersicht der Luftbildkartierung und Geländebegehung der einzelnen Testgebiete

Testgebiet	Breitenlage	LB-Auswertung	Geländebegehung <sup>1)</sup>
Volcán Tacora	17°43'S	+	
Nevados de Putre	18°05'S	+	*
Cerro Larancagua	18°05'S	+	*
Cerro Guanaguane	18°08'S	+	*
Massiv Choquelimpie	18°17'S	+	**
Cerro Arintica	18°50'S	+	*
Cerro Alto Toroni	19°45'S	+	*
Cerro Napa	20°30'S	+	
Cerro Paroma, Volcán Olca	20°56'S	+	*
Volcán Aucanquilcha	21°13'S	+	*
Cerro Chela	21°24'S	+	
Vulkane San Pedro und San Pablo	21°53'S	+	
Cordillera del Tatio	22°15'S	+	**
Cerro del Pajonal	22°30'S	+	*
Cerro del Toco	22°58'S	+	**
Cerro Acamarachi	23°17'S	+	
Cerro Tumisa	23°27'S	+	
Cordón de Puntas Negras	23°30'–50'S	+	
El Laco (Cordón de Puntas Negras)	22°50'S	+	**
Cordón de Pular	24°11'S	+	
Volcán Llullaillaco	24°43'S	+	*
Cerros Colorados	26°10'S	+	
Tres Cruces (W-Seite)	27°06'S	+	**
Nevado Jotabeche (N-Seite)	27°42'S	+	**
Cerro Caserones Sur	28°12'S	+	
Cerro del Potro	28°23'S	+	*
Encierro-Tal	29°11'S	+	*

<sup>1)</sup> \* = Teilbegehung mehrerer Einzugsgebiete, \*\* = ausgedehnte Begehung des ganzen Testgebietes

Quelle: JENNY u. KAMMER (1996)

Miñiques (23°48' S) aus nach Osten gewendet, hätte er 10 km entfernt zahlreiche und wunderbar ausgeprägte Vergletscherungsspuren am Fuße des Puntas Negras Massivs sehen können. Dieses Massiv umfasst etwa 400 km<sup>2</sup> und bis auf eine Höhe von 4400 m ü.M. befinden sich in mehreren Expositionen Endmoränen (JENNY u. KAMMER 1996, 57). Daher liegt die Vermutung nahe, dass sogar eine flächendeckende Vereisung dieses Massivs vorgelegen hat. Auch weiter südlich in Richtung der Trockendiagonalen weist der Cerro Pular (24°11' S) zahlreiche Moränenstände auf. Somit handelt es sich nicht um eine isolierte, sondern um eine fundierte Untersuchung in dieser Zone, welche eine ausgedehnte frühere Vergletscherung dokumentiert.

Zum Schluss möchten wir noch Stellung nehmen zur Aussage auf Seite 130: „Die südlichste Bildung bei 21°32' s.Br. im Sommerregengebiet, die als Blockgletscher eindeutig anzusprechen ist, befindet sich am Palpana“. In unseren Untersuchungen finden sich da-

gegen zahlreiche aktive Blockgletscher 200 km südlich bis 23°30' S, z. B. am Cerro Lejía (23°30' S) (KAMMER et al.). Im weiteren wird im Artikel erwähnt, dass es südlich des Cerro Palpana zu trocken zur Blockgletscherbildung gewesen sein müsse. Auch fossile Blockgletscher seien nicht bekannt. In der Zone der Trockendiagonalen zwischen 24°S und 27°S scheinen tatsächlich keine aktiven Blockgletscher zu existieren. Aber selbst in dieser heute ariden Zone bieten fossile Blockgletscher wie z. B. der Cerro Aguas Blancas (25°42' S) und der Cerro Azufrera de los Cuyanos (26°20' S) Hinweise auf Veränderungen der Feuchte in der Vergangenheit (KAMMER et al., und Feldbegehung 1999).

Zusammenfassend möchten wir festhalten, dass nur ausgedehnte Feldarbeiten zwischen 18° und 29°S erlauben, die glazialen und periglazialen Prozesse in den ariden Anden in ihrer Übersicht zu verstehen und entsprechende paläoklimatische Interpretationen zu geben.

#### Literatur

- AMMANN, C., JENNY, B., KAMMER, K. a. MESSERLI, B. (im Druck): Late Quaternary glacier response to humidity changes in the Arid Andes of Chile (18°–29°S). In: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.
- JENNY, B. u. KAMMER, K. (1996): Climate Change in den trockenen Anden – Jungquartäre Vergletscherungen. In: Geographica Bernensia G 46, 1–80.
- KAMMER, K., AMMANN, C. a. JENNY, B. (im Druck): Rock glaciers at their climatic limit in the arid Andes between 18° and 29°S. In: Permafrost and Periglacial Processes.
- SCHRÖDER, H. (1999): Vergleichende Periglazialmorphologie im Sommerregengebiet der Atacama. In: Erdkunde 53, 119–135.

#### KOMMENTAR ZU DEN ANMERKUNGEN VON BETTINA JENNY, KLAUS KAMMER UND BRUNO MESSERLI (ERDKUNDE 55, 2001, 288–289)

HILMAR SCHRÖDER

Die Anmerkungen von JENNY, KAMMER und MESSERLI zu meinem Aufsatz „Vergleichende Periglazialmorphologie im Sommerregengebiet der Atacama“ (ERDKUNDE 53, 1999, 119–135) verlangen einige Richtigstellungen und ergänzende Bemerkungen, die ich in die Teilaspekte „Arbeitsmethodik und Untersuchungsgebiet“, „Glazialmorphologie“ und „Blockgletscher“ gliedern möchte.

### Arbeitsmethodik und Untersuchungsgebiet

Das Konzept der Arbeiten im Untersuchungsgebiet geht von geomorphologischen Detailkartierungen einzelner Gipfel (Llullaillaco, Miñiques, Palpana und Sillajhuay) aus. Allein die Feldarbeiten am Llullaillaco beanspruchten insgesamt 12 Wochen zu verschiedenen Jahreszeiten; auch an den anderen Gipfeln fanden jeweils mehrwöchige Felduntersuchungen statt. Einzelergebnisse sind unter anderem in SCHRÖDER u. SCHMIDT (1997) und in SCHRÖDER u. MAKKI (1998) dokumentiert. Alle weiteren erwähnten Gipfel wurden begangen, im Hangfußbereich befahren bzw. durch Luftbildinterpretation analysiert. Daher musste es neben Bereichen kleinräumiger Detailkenntnis Flächen geben, die nicht so intensiv bearbeitet werden konnten. Dies ist wohl um so verständlicher, als es sich um ein Gebiet handelt, das eine Ausdehnung von mehreren hundert Kilometern hat und das in Teilen infrastrukturell schlecht erschlossen ist. Die Mehrzahl der Gipfel konnte überhaupt nicht bearbeitet werden. Wie aus dem Artikel (SCHRÖDER 1999) hervorgeht, habe ich allerdings auch nie einen unterstellten Vollständigkeitsanspruch erhoben oder gar erwähnt. Bei genauerer Betrachtung der Abbildungen in meinem Artikel hätten JENNY, KAMMER u. MESSERLI ersehen müssen, dass einige ihrer Kritikpunkte gar nicht Gegenstand der Untersuchungen waren. Wichtig ist vielmehr der Hinweis auf das Fragezeichen in Abbildung 7, mit dem ich durchaus davon ausgegangen bin, dass weitere Blockgletscher im Süden vorhanden sein können. Diese wurden mir zwischenzeitlich von DONALD PAYNE (Aberdeen) bestätigt, der am San Pedro und San Pablo (PAYNE 1998) Blockgletscher entdeckt hat, also genau im Bereich meines Fragezeichens.

Nach dem oben gesagten, kann der Hinweis auf die Arbeitsmethodik von JENNY u. KAMMER (1996) gar keine Bewertung beinhalten, wie dies leider missverstanden worden ist. Meinungsdifferenzen liegen eher in der Interpretation und Deutung des Formenschatzes vor. Hierzu folgende Anmerkungen:

### Glazialmorphologie

Den Miñiques betreffend bin ich leider zusammenhangslos und damit missverständlich zitiert worden. Ich hatte formuliert: „Am Miñiques gibt es in 5450 m und 5500 m Höhe jeweils einen Kratersee. Sie weisen eine umgebende Wandhöhe von ca. 150–200 m auf (Abb. 2). Das potentielle morphographische Nährgebiet würde zur Gletscherbildung ausreichen. Dazugehörige Moränen konnten jedoch nicht eindeutig identifiziert werden, da die Steilwandigkeit das Moränenmaterial sehr schnell wieder in die Glatthangbildung einbezieht. Anders in einer Tiefenlinie, die aus einer überwiegend beschatteten Südwand am 4900 m hohen Plateau herauskommt. Hier sind etwa 500 m lange Seiten-

moränen vorhanden, die auch in einer markanten Stirnmoräne enden.“ Daraus geht hervor, dass ich eine pleistozäne Vereisung nie in Abrede gestellt habe. Die Glatthangbildung führt bei den überwiegend sehr locker lagernden Materialien auf steilen Flanken jedoch zu einer relativ schnellen Überprägung. Und nunmehr ist auch nicht mehr fehlzuinterpretieren, dass „flächendeckende Vereisungszeugen am Miñiques (!) nicht vorhanden sind“, so dass es hier nicht möglich ist, „Angaben zu einer an Maximalvereisungen gebundenen Gletscherschneegrenze“ zu machen. Ergänzend muss gesagt werden, dass die Position des Moränenmaterials auf dem Südhang keine eindeutige Zuordnung des Nährgebietes ermöglicht. Der Gletscher kann sowohl von dem 4900 m hohen Plateau als auch aus dem Gipfelbereich gekommen sein.

Um es noch einmal klarzustellen: Meine Argumentation richtet sich nicht gegen die Anerkennung pleistozäner Gleichgewichtslinien, die mit Ausnahme des unmittelbaren Bereichs der Trockendiagonalen als weitestgehend geklärt gelten dürfen. Vielmehr richtet sie sich gegen die häufige Vereinnahmung von wallartigen Formen als Moränenmaterial (GROSJEAN et.al. 1991). Gerade auf Vulkankegeln, die während der Vereisungsphasen oder im Holozän aktiv waren, gibt es wesentlich wahrscheinlichere Ursachen für die Entstehung solcher Formen, wie die z. B. vom Südhang des Llullaillaco beschriebenen Muren (SCHRÖDER u. SCHMIDT 1997). In bezug auf die Auslegung von Geländemerkmalen einer letzteiszeitlichen Vergletscherung unterscheiden sich die in Chile arbeitenden Erlanger Kollegen durchaus von denjenigen in Bern, deren Interpretationen weit- aus großzügiger ausfallen.

### Blockgletscher

Die Bemerkung von JENNY, KAMMER u. MESSERLI, dass „in der Zone der Trockendiagonalen [...] tatsächlich keine aktiven Blockgletscher zu existieren“ scheinen, habe ich erstmals auf der Arbeitsgruppensitzung „Geomorphologie“ während des Jahrestreffens der Hochgebirgsökologen in Bonn im Mai 1996 vertreten. Ebenso wurde dieses Thema auf späteren Tagungen unter dem Gesichtspunkt angesprochen, dass Blockgletscher offensichtlich auch eine Trockengrenze besitzen. Die Erkenntnis des Vorhandenseins einer Trockengrenze für die Genese von Blockgletschern möchte ich durchaus als mein geistiges Eigentum reklamieren. Dies kann man nicht mit einem Satz in einem Kommentar versuchen so darzustellen, als ob diese Erfahrung aus der eigenen Schule stammt.

Eine weitere Anmerkung betrifft das Vorhandensein von fossilen Blockgletschern in der Trockendiagonalen. Die Literatur zu dem Blockgletscherphänomen ist außerordentlich umfangreich und hat durchaus Aspekte, die auch international strittig sind. Dazu gehört auch die Problematik der Ansprache von fos-

silen Blockgletschern. Mir scheint der sinnvollste Weg der kleinste gemeinsame Nenner zu sein. Dieser wäre (und so habe ich auch die Ansprache im Gelände vorgenommen), dass ein Mindestmaß an vertikaler Differenzierung im Schutt-Eis-Gemisch noch makroskopisch ansprechbar sein muss. Dies wäre durch das andeutungsweise Vorhandensein eines Blockmantels auf der ehemaligen Stirn garantiert. Desweiteren sollte der konvexe Hangknick vom Übergang der rheolitischen Strukturen zur Stirn nicht vollständig überprägt sein. Das alleinige Auftreten rheolitischer Strukturen in Schutt-Eis-Gemischen, wie dies in sehr vielen Tiefenlinien im Bereich der ariden Diagonalen der Fall ist, rechtfertigt m.E. noch nicht die Ansprache als fossiler Blockgletscher. In der Trockendiagonalen haben sich in eben diesen Tiefenlinien aufgrund des fehlenden Oberflächenabflusses beträchtliche Schuttmassen angehäuft, deren Rheolitik dominant auch gravitativen Ursprungs ist, obwohl sie unstrittig gewisse Anteile eines Eis-Schutt-Gemisches aufweisen. Ein in Folge des eige-

nen Auflastdruckes entstandenes selbständiges Fließen daraus ableiten zu wollen, halte ich für sehr gewagt. JENNY, KAMMER u. MESSERLI leiten nunmehr daraus ab, dass ich der Meinung sei, dass keine Veränderung in der Feuchtigkeit stattgefunden habe. Davon kann nicht die Rede sein; vielmehr wurde von mir schon früher angeführt (SCHRÖDER u. SCHMIDT 1997), dass beträchtliche Feuchtigkeitsschwankungen in der Trockendiagonalen am Lullaillaco nachweisbar sind, die sich u. a. gut in das von VEIT bereits 1991 entwickelte und 1998 sowie 2000 erweiterte Modell einfügen. Berechtigt scheint mir allerdings die Frage nach dem Ausmaß und der Ursache der erhöhten kaltzeitlichen Feuchtigkeit: Hier gehen die in Chile arbeitenden Erlanger Autoren von geringeren Niederschlagseinträgen aus als die Berner Kollegen und räumen einer verringerten Verdunstungskraft aufgrund der kühleren Klimabedingungen einen wichtigen Stellenwert bei der Erklärung der erhöhten Humidität ein. Was auch erklärt, warum am Lullaillaco Breitböden und keine Kare existieren.

#### Literatur

- GROSJEAN, M.; MESSERLI, B. u. SCHREIBER, H.: Seenhochstände, Bodenbildung und Vergletscherung im Altiplano Nordchiles: Ein interdisziplinärer Beitrag zur Klimageschichte der Atacama. In: *Bamberger Geogr. Schriften* 11, 99–108.
- JENNY, B. u. KAMMER, K. (1996): Jungquartäre Vergletscherungen. Climatic Change in den trockenen Anden. In: *Geographica Bernensia* G46, 1–80.
- PAYNE, D. (1998): Climatic implications of rock glacier in the arid Western Cordillera of the Central Andes. In: *Glacial Geology and Geomorphology*, <http://ggg.qub.ac.uk/ggg/paprts/full/1998/rp031998/rp03.htm>
- SCHRÖDER, H. (1999): Vergleichende Periglazialmorphologie im Sommerregengebiet der Atacama. In: *Erdkunde* 53, 119–135.
- SCHRÖDER, H. u. MAKKI, M. (1998): Das Periglazial des Lullaillaco (Chile/Argentinien). In: *Petterm. Geogr. Mitt.* 142, 67–84.
- SCHRÖDER, H. u. SCHMIDT, D. (1997): Klimamorphologie und Morphogenese des Lullaillaco (Chile/Argentinien). In: *Mitt. Fränk. Geogr. Ges.* 44, 225–258.
- VEIT, H. (1991): Jungquartäre Relief und Bodenentwicklung in der Hochkordillere im Einzugsgebiet des Rio Elqui (Nordchile, 30°S). In: *Bamberger Geogr. Schriften* 11, 81–97.
- (1998): Holocene climatic changes and atmospheric paleocirculation in the northwestern part of the "Aride Diagonale" of South America. In: *Bamberger Geogr. Schriften* 15, 355–369.
- (2000): Klima- und Landschaftswandel in der Atacama. In: *Geogr. Rundschau* 52/9, 4–9.