



**DEKLIM**

## **Schlussbericht**

# **Südargentinische Seesediment Archive und Modellierung (SALSA)**

**Stabile Isotope und Ökosystemdynamik (SALSA III)**

*Berichtersteller*

**Andreas Lücke, Christoph Mayr, Gerhard H. Schleser**

*Förderkennzeichen:*

**01 LD 0035**



*mit ergänzenden Beiträgen aus den kooperierenden DEKLIM-Verbundprojekten*

**Sedimentologie und Datierung (SALSA I)**

**Paläobiologie und Klimarekonstruktion (SALSA II)**

*von*

**Bernd Zolitschka, Frank Schäbitz, Michael Fey, Torsten Haberzettl,  
Stephanie Janssen, Nora Maidana, Christian Ohlendorf, Michael Wille**

*Förderkennzeichen: 01 LD 0034*

*und*

**Transiente Simulation des mittleren Holozäns mit einem  
gekoppelten allgemeinen Zirkulationsmodell der Atmosphäre  
(MIDHOL)**

*von*

**Julie Jones, Hans von Storch, Sebastian Wagner, Martin Widmann**

*Förderkennzeichen: 01 LD 0301*

**<http://www.salsa.uni-bremen.de>**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Berichtsteil I: Kurze Darstellung des Vorhabens .....</b>	<b>3</b>
1.    Aufgabenstellung des Vorhabens.....	3
2.    Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens.....	4
3.    Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
4.    Wissenschaftlicher Stand .....	5
5.    Zusammenarbeit .....	6
<b>Berichtsteil II: Eingehende Darstellung der Ergebnisse von SALSA .....</b>	<b>8</b>
1.    Wichtigste erzielte Ergebnisse (Most important results).....	8
1.1    Zusammenfassung .....	8
1.2    Summary.....	9
1.3    Introduction .....	10
1.4    Regional survey .....	12
1.5    Modern process studies.....	13
1.5.1    Meteorology .....	14
1.5.2    Physical limnology .....	14
1.5.3    Hydrology.....	17
1.6    Stable isotope hydrology .....	18
1.7    Climate changes during the last millennium.....	22
1.8    Wet-dry cycles during the middle and late Holocene .....	28
1.9    Early to mid-Holocene dry event.....	30
1.10    Humid conditions from late MIS 2 until the early Holocene .....	34
1.11    Causes for climate variations in Southern Patagonia.....	37
1.12    Quantitative climate reconstructions.....	39
1.13    References.....	42
2.    Verwertbarkeit der Ergebnisse .....	45
3.    Wissenschaftlicher Fortschritt durch andere Arbeiten .....	45
4.    Erfolgte und geplante Veröffentlichungen .....	45
4.1    Begutachtete Veröffentlichungen.....	45
4.1.1    Begutachtete Veröffentlichungen in Vorbereitung .....	45
4.1.2    Begutachtete Veröffentlichungen im Begutachtungsverfahren .....	46
4.1.3    Begutachtete Veröffentlichungen im Druck .....	46
4.1.4    Begutachtete Veröffentlichungen (2003-2007).....	46
4.2    Nicht begutachtete Zeitschriftenartikel (2004-2006).....	47
4.3    Tagungsbeiträge – Abstracts und Poster (2003-2007).....	47
4.4    Convener bei nationalen und internationalen Tagungen (2004-2007).....	52
4.5    Qualifikationsarbeiten (2005-2007).....	53
4.6    Pressemitteilungen (2002-2006).....	53
4.7    TV-Produktionen (2004) .....	54
4.8    Verzeichnis der Anlagen.....	55
<b>Berichtsteil III: Erfolgskontrollbericht.....</b>	<b>56</b>
1.    Beitrag zu den förderpolitischen Zielen von DEKLIM .....	56
2.    Wissenschaftliche Ergebnisse des Vorhabens.....	57
3.    Fortschreibung des Verwertungsplans .....	58
4.    Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	58
5.    Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer .....	58
6.    Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung .....	58

# Berichtsteil I: Kurze Darstellung des Vorhabens

## 1. Aufgabenstellung des Vorhabens

Im Projekt „Südargentinische Seesediment Archive und Modellierung“ (SALSA) wurden limnische Sedimente aus Kraterseen des südlichen Patagoniens (Argentinien, 52°S) in internationaler Kooperation untersucht. In diesem integrierten und interdisziplinären Forschungsvorhaben kamen Methoden der Paläobiologie (Pollen, Diatomeen), der Sedimentologie, der Geochemie sowie der Isotopenbiogeochemie in Kombination mit multipler Datierung zum Einsatz. Ziel war es, aus einem absolut datierten Multiproxy-Datensatz Klimarekonstruktionen abzuleiten, die als Eingabeparameter für regionale Klimamodelle genutzt werden können. Dabei wurden folgende übergeordnete Fragestellungen verfolgt:

- Erarbeitung des ersten kontinuierlichen und zeitlich hochauflösenden Klima- und Umweltarchivs für das südliche Südamerika, das mit einer abgesicherten Chronologie (multipler Datierungsansatz) und interdisziplinär erarbeiteten Parametern (Multiproxy-Ansatz) erstellt wurde;
- Zeitliche Ausweitung der instrumental erfassten Klimageschichte des südlichen Südamerikas mit quantitativen Proxy-Daten auf das Spätquartär (letzten ca. 16.000 Kalenderjahre);
- Bestimmung von ökologisch und wirtschaftlich relevanten feucht-trocken Zyklen in Südpatagonien;
- Erfassung des zeitlichen Ablaufs und des Charakters von schnellen Klimaänderungen im Vergleich mit anderen terrestrischen Archiven aus Südamerika, aber auch mit marinen Sedimenten und Eiskernen aus der Antarktis.

Das Verbundprojekt SALSA besteht aus den drei Teilprojekten SALSA I (Sedimentologie und Datierung), SALSA II (Paläobiologie und Klimarekonstruktion) sowie SALSA III (Stabile Isotope und Ökosystemdynamik) und bearbeitete die folgenden wissenschaftlichen Aufgabenstellungen:

- Interdisziplinäre Untersuchung lakustriner Sedimente, Erstellung einer Kalenderjahr-Zeitskala und Entwicklung von paläoklimatischen Proxydatensätzen mit hoher zeitlicher Auflösung.
- Entwicklung von prozessorientierten Transferfunktionen mittels bio- und geowissenschaftlicher Proxydaten, um das Verständnis der das Klima steuernden Faktoren, ihrer Kontrollmechanismen und ihrer Auswirkungen auf das natürliche Umweltarchiv „See“ besser zu verstehen.
- Ableitung von quantitativen paläoklimatischen Parametern mit höchstmöglicher zeitlicher Auflösung für das Holozän und das Spätglazial als Eingabeparameter für regionale Klimamodelle zur Verbesserung des Prozessverständnisses.
- Bestimmung der Geschwindigkeit und Amplitude von Klimaänderungen und von Perioden mit extremen Klimabedingungen sowie Nachweis von Episoden rascher Klimaänderungen und ökologischer Wechsel für die hohen Breiten der südlichen Hemisphäre.

Als konkrete Aufgabenstellungen ergaben sich daraus für SALSA III:

- Monitoring-Studien zur Verbesserung des Verständnisses rezent ablaufender hydrologischer Prozesse sowie der aktuellen limnischen Primärproduktion;
- Probenahme von Sedimentkernen und Oberflächenproben von Kraterseen und deren Einzugsgebieten aus dem Pali Aike Vulkanfeld (Südpatagonien, Argentinien);
- Aufbau eines Netzwerkes der Kohlenstoffisotopie der organischen Substanz lakustriner Sedimente für die letzten Jahrhunderte zur Verbesserung der Kenntnisse über die jüngste Umweltgeschichte der Region;

- Hochauflösende isotopengeochemische Untersuchungen des organischen Kohlenstoffs, des Gesamtstickstoffs, des organisch gebundenen Sauerstoffs (Zellulose) sowie authigener Karbonate zur Verbesserung der Aussagekraft von parallel erfassten sedimentologischen und paläobiologischen Daten;
- Charakterisierung des lakustrinen Ökosystems während des Spätglazials und des Holozäns im Hinblick auf Quellen sedimentären organischen Materials, lakustriner Primärproduktion, Temperaturentwicklung und Veränderungen im hydrologischen Kreislauf;
- Entwicklung von Transferfunktionen für stabile Isotope zur quantitativen Rekonstruktion von Niederschlag, Verdunstung und Temperatur.

In Verbindung mit den DEKLIM-Verbundprojekten SALSA I und SALSA II und MIDHOL wurden gemeinsam mit SALSA III Ergebnisse zu weiteren Aufgabenstellungen erarbeitet:

- Untersuchungen zur Fragestellung, wie und in welchem Ausmaß natürliche Klimaantriebe (orbitale Parameter, solare Aktivität, Treibhausgaskonzentration) das Klima sowie dessen Variabilität auf der südlichen Hemisphäre steuern.
- Analyse der durch natürliche Klimaantriebe angefachten numerischen Simulationen hinsichtlich dominierender Klimaphänomene (südliche Westwinde, Antarktische Oszillation).
- Abschätzung der Bandbreite natürlicher Klimavariabilität mit Hilfe der numerischen Simulationen. Der Vergleich mit Proxydaten dient zur Validierung von aktuellen GCMs.
- Identifikation von Zeitraum und Charakter schneller Änderungen des Klimasystems zur Aufdeckung von Periodizitäten, wie sie zum Beispiel für feucht-trocken Zyklen im südlichen Patagonien erwartet werden.

## 2. Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

Aufgrund der Begutachtung der Anträge wurde die geplante Modellierungskomponente (SALSA IV) nicht für die Förderung vorgeschlagen. Daher mussten alle Arbeiten in Zusammenhang mit der Modellierung zunächst zurückgestellt werden. Durch die intensiven Bemühungen von SALSA, durch die wissenschaftliche Kooperation mit dem DEKLIM-Projekt „Klimavariabilität des Spätquartärs in jährlicher bis hundertjähriger Auflösung: Vergleich von Proxy-Daten aus synchronisierten terrestrischen Archiven und numerischen Simulationen“ (PROSIMUL) und die Unterstützung durch den Projektträger sowie das BMBF konnte in der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit das Modellierungsprojekt MIDHOL gefördert werden. Dadurch wurde eine intensive Zusammenarbeit zwischen terrestrischer Paläoklimatologie und Klimamodellierung initiiert und somit die Möglichkeit eröffnet, Proxydaten mit Simulationsergebnissen von globalen und regionalen Klimamodellen zu vergleichen.

## 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planungen zum Vorhaben SALSA sahen vor, dass die drei Teilprojekte zunächst gemeinsame Geländearbeiten durchführen und an diesem Material Proxydaten erarbeiten und Hypothesen formulieren. In einer ersten Phase von SALSA wurden Sedimentkurzkerne in verschiedenen Kraterseen aber auch aus Seen u.a. glazialer Genese entnommen. Daran anschließend sollten gemeinsame interdisziplinäre Arbeiten zur Entwicklung von optimalen Verfahren zur absoluten Datierung, zur Ermittlung geeigneter Lokationen für die Entnahme langer Sedimentkerne aber auch zur Auswahl aussagekräftiger Proxydaten durchgeführt werden. Außerdem konnten argentinische Kooperationspartner gewonnen werden, die vollständig in SALSA integriert wurden. Aufbauend auf den Sediment-Kurzkernen wurden Arbeitshypothesen zur Klimaentwicklung formuliert, diskutiert und evaluiert. Auf dieser

Grundlage war es dann möglich, für die folgende zweite Phase von SALSA eine geeignete Lokalität für die Erbohrung langer Sedimentsequenzen festzulegen.

Es wurde dabei gemeinsam entschieden, diese zweite Phase des Projektes nicht nur auf einen, sondern auf zwei Kraterseen zu erweitern: Laguna Azul und Laguna Potrok Aike. Die Sedimente beider Seen sind mit einem Kolbenlot beprobt und interdisziplinär datiert und analysiert worden. Die erzielten Ergebnisse wurden wie in Phase 1 gemeinsam ausgewertet und diskutiert. Schließlich wurden einige der Hypothesen mit Hilfe von transienten Simulationsläufen eines globalen gekoppelten Klimamodells getestet. Dadurch sollten nicht zutreffende Hypothesen ausgeschlossen und das Verhalten des Modells überprüft werden. Im Rahmen von Arbeitsgruppentreffen und Workshops kam es zu einem regelmäßigen Austausch der Ergebnisse der Teilprojekte. Diese Treffen wurden auch intensiv genutzt, um die gemeinsame Interpretation und Hypothesenbildung voranzutreiben.

#### SALSA Workshops und Arbeitstreffen:

05/06 16<sup>th</sup> SALSA Workshop, Bremen  
02/06 SALSA-PROSIMUL-MIDHOL Workshop, Hamburg  
11/05 15<sup>th</sup> SALSA Workshop, Bremen  
08/05 14<sup>th</sup> SALSA Workshop, Bremen  
05/05 13<sup>th</sup> SALSA Workshop, Leipzig  
04/05 12<sup>th</sup> SALSA Workshop, Köln  
02/05 SALSA-PROSIMUL-MIDHOL Workshop; Braunschweig  
10/04 11<sup>th</sup> SALSA Workshop, Bremen  
10/04 MIDHOL-PROSIMUL-SALSA Workshop, Bremerhaven  
08/04 10<sup>th</sup> SALSA Workshop, Köln  
03/04 MIDHOL-PROSIMUL-SALSA Workshop, Braunschweig  
02/04 9<sup>th</sup> SALSA Workshop, Köln  
11/03 8<sup>th</sup> SALSA Workshop, Bad Münstereifel  
09/03 7<sup>th</sup> SALSA Workshop, Mainz  
04/03 6<sup>th</sup> SALSA Workshop, Essen  
01/03 5<sup>th</sup> SALSA Workshop, Jülich  
11/02 4<sup>th</sup> SALSA Workshop, Bremen  
08/02 3<sup>rd</sup> SALSA Workshop, Essen  
01/02 2<sup>nd</sup> SALSA Workshop, Essen  
11/01 1<sup>st</sup> SALSA Workshop, Bremen

Die Zusammenstellung der Ergebnisse für internationale wissenschaftliche Zeitschriften sowie die Präsentation der erzielten Resultate auf nationalen wie internationalen wissenschaftlichen Tagungen erfolgte ebenfalls wie geplant.

## **4. Wissenschaftlicher Stand**

Neuere Arbeiten im Hinblick auf die klimatischen Zustände des Spätglazials und des Holozäns in der Südhemisphäre wurden laufend berücksichtigt und einbezogen. Das Holozän, in der Vergangenheit oft als eine Periode stabiler Klimabedingungen beschrieben, ist durch eine hohe klimatische Variabilität gekennzeichnet. Ebenso hat sich über die Frage nach einem global synchronen oder asynchronen Verlauf von Klimaänderungen zwischen Nord- und Südhemisphäre eine intensive Diskussion entwickelt, die neue Impulse zur Bedeutung möglicher Steuermechanismen erbracht hat. Bisher fehlen ausreichende Kenntnisse zum Ausmaß dieses Einflusses, sowohl bezogen auf grundsätzliche Prozesse als auch auf regionale Aspekte.

Bedeutende Fortschritte bezüglich des Wissens über das Klimasystem der Südhemisphäre sind durch neue und detailliertere bzw. mit neu entwickelten Methoden bearbeitete marine Sedimentkerne und Eisbohrkerne erlangt worden. Auch die Weiterentwicklung von globalen Modellen zur Zirkulation der Atmosphäre (GCMs) bis hin zu regionalisierten Modellen hat viel

zum besseren Verständnis der klimatischen Zusammenhänge beigetragen. In der terrestrischen Paläoklimatologie sind in den letzten Jahren vor allem Verfahren intensiv verbessert worden, die darauf abzielen, Klimatelemente wie Temperatur, Niederschlag oder Wind(stärke/richtung) quantitativ zu rekonstruieren.

Die wissenschaftlichen und technischen Arbeiten von SALSA bauten auf der vorhandenen Geländeausrüstung und den Laboreinrichtungen auf, die während der Projektlaufzeit stets den aktuellen technischen und fachlichen Notwendigkeiten angepasst wurden. Spezielle patentgeschützte Konstruktionen oder andere Schutzrechte sind für die Durchführung der Vorhaben nicht genutzt worden. Als Informationsquellen dienten die zur Verfügung stehende Fachliteratur, welche über standortgebundene bzw. Online-Bibliotheken bereitgestellt worden ist, sowie nationale und internationale wissenschaftliche Datenbanken.

## 5. Zusammenarbeit

Unsere von vornherein auf Kooperation ausgelegten Arbeiten im südlichen Südamerika entwickelten sich gerade bei Fragen zum Verständnis des Klimasystems in der Südhemisphäre zu einer umfassenden Integration von Kolleginnen und Kollegen aus dem In- und Ausland. SALSA wurde zu einem Nukleus für eine ganze Anzahl an bereits laufenden, aber auch für eine noch größere Anzahl von beantragten Projekten.

Auf nationaler Ebene ist das Projekt SALSA eng mit dem DEKLIM-Netzwerkprojekt „Climate variability from synchronized terrestrial records on annual to centennial timescales during the Late Quaternary“ (PROSIMUL) verbunden, besonders mit Bezug zum Teilprojekt PROSIMUL III. Eine weitere DEKLIM-Verbindung besteht mit dem Modellierungsprojekt „Transient simulation of the middle Holocene with a coupled atmosphere-ocean general circulation model“ (MIDHOL). Weitere nationale Anknüpfungspunkte bestehen zum DFG Schwerpunktprogramm „International continental scientific drilling programme“ (ICDP), in dessen Rahmen die Projekte „Pre-site survey for potential new ICDP sites in southern Patagonia, Argentina“ (POTROK 1-3), „Analysis of Sediment Areal Distribution in Laguna Potrok Aike“ (ASADO) und „Seismic investigation of sedimentary fill and bedrock geometry of maar lake Potrok Aike, Southern Patagonia – a potential ICDP drill site (POTROK-MAARSEIS) stehen.

International ist das Projekt SALSA mit den Zielen des World Climate Research Programmes (WCRP) „Climate Variability and Predictability“ (CLIVAR) verbunden, das wiederum eng mit dem internationalen Geosphären-Biosphären Programm (IGBP) „Past Global Changes“ (PAGES) zusammenarbeitet und die „PAGES-CLIVAR Intersection“ bildet. Diese Intersection ist ein Kernprojekt von PAGES, dessen Fokus 2 die paläoklimatischen Fragestellungen von CLIVAR behandelt. Die PAGES-CLIVAR Intersection hat sich ein verbessertes Verständnis von Klimavariabilität auf dekadischen bis Jahrhundert-Zeitskalen durch die Nutzung von zeitlich hochauflösenden Paläoklimadaten zum Ziel gesetzt. Ein anderer Schwerpunkt ist die Verbesserung der Kommunikation zwischen Paläoklimadatenproduzenten und Modellierern. Vergleichbare Zielsetzungen verfolgt auch DEKLIM allgemein und SALSA im Besonderen.

SALSA trägt auch zum PAGES Fokus 1 bei: dem Projekt „Paleoenvironments of the Northern and Southern Hemispheres“ (PANASH). Ziel von PANASH ist die Rekonstruktion von Paläoumwelt und Paläoklima entlang von drei Pol-Äquator-Pol (PEP) Transekten entlang der Kontinente. Dies erfolgt unter Berücksichtigung des Multiproxy-Ansatzes und der Modellierung. SALSA befindet sich am südlichen Ende des PEP I Transektes von Nord nach Südamerika.

SALSA ist auch mit der PAGES Initiative „Long-Term climate REconstruction and Dynamics of (southern) South America“ (LOTRED-SA) verknüpft. Diese Initiative verbindet alle verfügbaren Paläoklimadatensätze für Südamerika. Durch SALSA konnte eine neue Schlüsselregion für die Klimarekonstruktion von Südamerika bzw. der gesamten südlichen Hemisphäre herausgearbeitet werden. Unsere Forschungsergebnisse liefern so auch einen Beitrag zum Projekt „Land-ocean correlation of long records from the southern hemisphere at orbital and sub-orbital timescales“ (PASH-2) der INQUA Paläoklimakommission. Dieses

Projekt ist eine Fortsetzung der sehr erfolgreichen Initiative "Palaeoclimates of the Southern Hemisphere" (PASH) und widmet sich dem Klimawandel und den Steuerungsmechanismen der Südhemisphäre.

SALSA hat nicht nur internationalen Bezug zu terrestrischen Klimaarchiven, sondern auch Kontakte zum „International Ocean Drilling Programme" (IODP) und zum durch die European Science Foundation (ESF) geförderten Projekt "European Project for Ice Coring in Antarctica" (EPICA) entwickelt.

Unter großer internationaler Beteiligung ist aus dem Projekt SALSA das „Potrok Aike Maar Lake Sediment Archive Drilling Project" (PASADO) hervorgegangen. In diesem Zusammenhang wurde im Jahr 2006 ein internationaler Workshop vom „International Continental Scientific Drilling Programme" (ICDP) finanziert, an dem 52 Teilnehmer aus 11 Ländern und 5 Kontinenten teilgenommen haben. Ziel dieses ICDP-Workshops war es, die Beantragung eines Tiefbohrprojektes bei ICDP vorzubereiten. Der Antrag wurde am 15.1.2007 unter maßgeblicher Beteiligung aller SALSA Projektleiter gestellt. Wird dieses Projekt gefördert, so eröffnen sich bisher nicht erwartete Möglichkeiten, um die quantitative Klimarekonstruktion in einer Schlüsselregion des Klimasystems der Südhemisphäre bis etwa 770.000 Jahre vor heute zurückzuverfolgen. Damit wäre eine direkte Vergleichbarkeit mit den Eiskernen der Antarktis und marinen Sedimenten des Südatlantiks gegeben. Bereits jetzt sind nationale Forschungsprojekte in Kanada (Can-PASADO), Schweden (ohne Namen) und Argentinien (Proyecto de Investigación de Laguna Potrok Aike – PIPA) angelaufen, die bestimmte Aspekte mit Bezug zu PASADO bearbeiten.

Zusammengenommen wurde die Kooperation mit führenden nationalen und internationalen Arbeitsgruppen auf dem Gebiet der Klimatologie bzw. Paläoklimatologie, der Limnogeologie bzw. Paläolimnologie sowie der Klimamodellierung durch das Projekt SALSA deutlich verbessert und ausgebaut. Die Perspektiven, dass die im Rahmen von SALSA erarbeiteten Daten in bereits jetzt existierenden bzw. zukünftigen internationalen Projektverbänden weitergenutzt werden, sind hervorragend.

## Berichtsteil II: Eingehende Darstellung der Ergebnisse von SALSA

### Schlussbericht

---

<b>Zuwendungsempfänger:</b>	Forschungszentrum Jülich
<b>Förderkennzeichen:</b>	01 LD 0035
<b>Vorhabenbezeichnung:</b>	<u>Südargentinische Seesediment Archive und Modellierung (SALSA)</u> SALSA III: Stabile Isotope und Ökosystemdynamik
<b>Laufzeit des Vorhabens:</b>	01.09.2001 bis 31.12.2006
<b>Berichtszeitraum:</b>	01.09.2001 bis 31.12.2006

---

### 1. Wichtigste erzielte Ergebnisse (Most important results)

Der Antrag zu diesem Projekt wurde international begutachtet. Die wichtigsten Ergebnisse von SALSA sind bzw. werden in begutachteten internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht. SALSA selbst, umso mehr aber noch das darauf aufbauende „Potrok Aike Maarsee Sedimentarchiv Bohrprojekt“ (PASADO) lebt von internationaler wissenschaftlicher Kooperation. Daher wurde der nachfolgende Berichtsteil II (Kapitel 1) ausschließlich in englischer Sprache unter dem Titel „Most important results“ verfasst. Vorangeschickt wird neben einer Summary auf Englisch auch eine Zusammenfassung auf Deutsch. Weiterhin wurden die Abbildungsunterschriften auf Deutsch übersetzt.

#### 1.1 Zusammenfassung

Präzise datierte Sedimentarchive aus den Seen Laguna Potrok Aike und Laguna Azul aus Südpatagonien (Argentinien) wurden interdisziplinär und in internationaler Kooperation analysiert. Wir haben daraus regional konsistente Klima- und Umweltdatensätze mit dekadischer Auflösung und einer Kalenderjahr-Zeitskala entwickelt. Dies sind die wichtigsten Ergebnisse:

1. Das Monitoring der aktuellen Prozesse liefert ein vertieftes Verständnis über Kontrollmechanismen, die die Sedimentgenese steuern:
  - 1.1 Aufbauend auf mehrjährigen Isotopendaten von Niederschlägen, Oberflächenwässern und Grundwässern konnte, erstmals für das südliche Patagonien, die Local Meteoric Water Line sowie die Local Evaporation Line etabliert werden. Diese erlauben eine detaillierte Einordnung der derzeitigen hydrologischen Situation (Evaporation/Zufluss) für einzelne Seen.
  - 1.2 Die isotope-geochemische Charakterisierung von Quellen organischen Materials in den Einzugsgebieten sowie in den Seen selbst ermöglicht die Differenzierung zwischen Eintrags- und Primärproduktionssignal in den lakustrinen Sedimenten.
  - 1.3 Instrumentelle meteorologische Daten erlauben es synoptische Situationen zu erfassen, die die regionale Niederschlagshäufigkeit kontrollieren. Danach sind Ostwinde vom Atlantik für intensive Regenereignisse verantwortlich. Die Advektion von Niederschlag aus dem Osten ist nur möglich, wenn die Intensität der südhemisphärischen Westwinde (SHW) nachlässt.
  - 1.4 Der Ferntransport von *Nothofagus* Pollen aus den Anden ist dagegen an eine höhere Intensität der SHW gebunden. Dies ist verbunden mit trockeneren Bedingungen.



- 1.5 Niederschläge aus Ostwindwetterlagen können aufgrund ihrer Isotopensignatur eindeutig von entsprechenden Niederschlägen aus Westwindwetterlagen unterschieden werden. Höhere  $\delta^{18}\text{O}$  Werte im Seewasser deuten demnach auf schwächere Westwinde und häufigere Ostwindwetterlagen im südlichen Patagonien hin.
2. Die Kombination von Prozessstudien mit einer großen Anzahl verschiedenster sedimentärer Proxydaten erlaubt eine deutlich verbesserte klimatische Interpretation:
  - 2.1 Im Spätglazial und frühen Holozän herrschten in Südpatagonien kühle und feuchte Bedingungen wahrscheinlich kombiniert mit geringeren Windstärken, deren Ursache die nordwärts verschobenen respektive abgeschwächten SHW waren. Dadurch war die Evaporation verringert und vermehrte Ostwindwetterlagen konnten Niederschläge in die Region transportieren.
  - 2.2 Zeitgleich mit der nordhemisphärischen Jüngeren Dryas herrschten in Südpatagonien eher wärmere und trockenere Klimazustände. Ursache war wahrscheinlich die Südwärtsverlagerung respektive Intensivierung der SHW.
  - 2.3 Am Übergang vom frühen zum mittleren Holozän verstärkten sich die Westwinde und eine ausgeprägte Trockenphase verursachte einen markanten Seespiegeltiefstand, der um 35 m unter dem heutigen lag.
  - 2.4 Seit dem mittleren Holozän sind zyklische Klimavariationen (Frequenz von ca. 1000 Jahren) ausgeprägt in variierenden Seespiegelständen zu beobachten. Diese Zyklen umfassen u.a. die "Mittelalterliche Klimaanomalie" und das südhemisphärische Äquivalent zur "Kleinen Eiszeit". Schließlich konnte auch eine deutliche Erwärmung im 20. Jahrhundert festgestellt werden. Saisonale Veränderungen der Lage der SHW sind derzeit die plausibelste Erklärung für dieses Phänomen.

## 1.2 Summary

Two multiple-dated lacustrine sediment records (Laguna Potrok Aike, Laguna Azul) from southern Patagonia (Argentina) have been analysed internationally and in an interdisciplinary manner. We developed regionally consistent climatic, hydrological and environmental records with up to decadal temporal resolution on a calendar-year timescale. The main results are:

1. Monitoring of modern processes provided in-depth knowledge of forcing factors:
  - 1.1 Based on isotope data of precipitation, surface waters and groundwaters from multiple years the Local meteoric Water Line as well as the Local Evaporation Line for southern Patagonia was established for the first time. These evaluations allow characterizing the present hydrological situation of single lakes.
  - 1.2 Sources of organic matter in the catchments and the lakes could be characterized using their isotopical and geochemical fingerprints. This provides the general framework to separate between climate signals derived from external input processes or from internal productivity processes.
  - 1.3 Based on instrumental meteorological data the synoptic situation responsible for precipitation in the study area was determined: easterly winds bring more intense rainfalls from the Atlantic Ocean. They are advected to Laguna Potrok Aike if the Southern Hemispheric Westerlies (SHW) decrease in strength.
  - 1.4 The long-distance transport of *Nothofagus* pollen from the Andes is related to more intense SHW and generally documents drier conditions in the steppe.
  - 1.5 Precipitation from easterly directions is characterized through significantly different isotopic compositions than moisture from westerly directions and can thus be discriminated. Enriched  $\delta^{18}\text{O}$  values in lake waters accordingly indicate weaker westerlies and an increased frequency of easterly winds in southern Patagonia.
2. The combination of process studies with a wide range of sedimentary proxy parameters improved the climatic interpretations considerably:

- 2.1 The Late-Glacial and early Holocene was dominated by moist and cold conditions most likely combined with reduced wind strength presumably related to a northward SHW shift leading to reduced evaporation and to precipitation transported by easterly winds into the region.
- 2.2 Contemporaneous to the northern hemispheric Younger Dryas warmer and drier conditions prevailed as a result of a southward shift or a weakening of the SHW.
- 2.3 At the early to mid-Holocene transition such conditions intensified with a major regional drought event and a resulting lake level drop at Laguna Potrok Aike by as much as 35 m.
- 2.4 Since the mid-Holocene cyclic climatic variations expressed as varying lake levels were observed with a recurrence interval of ca. 1000 years. Cycles include the “Medieval Climate Anomaly” and a Southern Hemispheric equivalent to the “Little Ice Age”. Finally, the “20<sup>th</sup> Century Warming” is recognised. Seasonal intensity shifts of SHW are the most likely reason for this cyclicity.

### 1.3 Introduction

In the southern hemisphere long, continuous and high resolution series of terrestrial paleoclimatic data are scarce and only slowly emerging, e.g. from New Zealand (Horrocks et al., 2005; Shulmeister et al., 2004; Turney et al., 2006). Such records are a key to a better evaluation of teleconnections and inter-hemispheric differences. In recent studies it emerged that for a proper understanding of the global climate system Southern Oceans play a key role (Kaiser et al., 2007, Knorr and Lohmann, 2003). The most extreme oceanic character globally is encountered between 40 and 60°S where 98% of water are juxtaposed to 2% of land: Patagonia and a few small islands. This region close to the Andean volcanic chain is subject to shifts in polar and mid-latitude pressure fields and precipitation regimes. It also is affected by the El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomenon (Ariztegui et al., 2007) and by the Antarctic Oscillation (AAO; Jones and Widmann, 2003). Patagonia thus can potentially provide unique terrestrial records of variations in climate. Such records also act as a cornerstone for paleodata-model comparisons. Additionally, links can be established to ice cores from Antarctica and to marine records from the Southern Oceans where dust and tephra of Patagonian provenance have been detected (Basile et al., 1997, Diekmann et al., 2000, Narcisi et al., 2005).

For southernmost South America lake studies are still rare and extend in time not beyond the Late-Glacial. At Lago Cardiel a 3.5 kHz seismic survey together with <sup>14</sup>C-dated sediment cores indicate that this 75 m deep lake contains only sediments spanning ~16,000 years and almost dried out around 13,000 cal. BP (Gilli et al., 2001, Gilli et al., 2005a, b; Markgraf et al., 2003). Similarly, investigations of lake sediment cores from the Gran Campo Nevado area in Chile (53°S) provide records for Late-Glacial and Postglacial times (Kilian et al., 2000, 2007). Thus, continuous records from southern South America that reach back far beyond the onset of the Late-Glacial are still missing.

In areas not scoured by young glaciations, volcanic crater lakes are ideal for the recovery of long and continuous paleoenvironmental records. Their potential has been demonstrated for the West Eifel Volcanic Field, Germany (e.g. Negendank and Zolitschka, 1993; Zolitschka et al., 2000), for the Massif Central, France (e.g. Thouveny et al., 1994), for southern Italy (e.g. Allen et al., 1999; Brauer et al., 2007; Guizzoni and Oldfield, 1996; Zolitschka and Negendank, 1996), for China (e.g. Mingram et al., 2004a, b; Schettler et al., 2006) and for New Zealand (e.g. Horrocks et al., 2005).

The research proposal “South Argentinean Lake Sediment Archives and modelling” (SALSA) makes use of lacustrine sediments deposited in crater lakes of the Pali Aike Volcanic Field in Southern Patagonia for climate reconstruction extending back in time into the last glaciation. SALSA is an integrated and interdisciplinary research approach with international cooperation.

The overarching aims of SALSA were:

- Extension of the instrumental climate record back in time with quantitative proxy data,
- Documentation and understanding of natural climate variability during the Holocene with high resolution, i.e. on societal relevant timescales and
- Documentation of events with rapid climate change.

Originally, SALSA consisted of four parts – SALSA I: sedimentology and dating, SALSA II: paleobiology and climate reconstruction, SALSA III: stable isotopes and system dynamics, SALSA IV: climate modelling and circulation reconstruction with a scientific focus on:

- Interdisciplinary investigation of lake sediments with establishment of a calendar year time scale to provide paleoclimatic proxy data with highest possible resolution that allows to detect abrupt climatic changes,
- Development of process-oriented transfer functions using bio- and geoscientific multiproxy data sets to improve the understanding of climatic forcing factors on the natural environmental archive recorded in lacustrine sediments,
- Investigation into the natural variability of the climate system and its controlling mechanisms in mid-latitudes of the Southern Hemisphere and
- Deduction of quantitative paleoclimatic parameters with highest possible resolution for the Holocene and beyond as an input for regional climatic models to drive and improve the resolution and performance of regional and global climate models.

Although SALSA was not realised with the above mentioned structure – the modelling part (SALSA IV) was not funded – it was possible to integrate modelling aspects at a later stage of DEKLIM. With the newly funded modelling project “Transient simulation of the middle Holocene with a coupled atmosphere-ocean general circulation model” (MIDHOL) SALSA was interlinked not only with a climate modelling group but also with the project “Climate variability from synchronized terrestrial records on annual to centennial timescales during the Late Quaternary” (PROSIMUL).

The project SALSA was established with two phases. The first phase consists of a regional survey (lakes, rivers, wells) in the Pali Aike Volcanic Field and beyond. This includes the study of physical limnology and surface sediments with short sediment cores for all lakes. Soon it became clear that out of more than 15 studied water-filled and dry lakes of different sizes and depths in the extra-Andean region of southern Patagonia only the two crater lakes of Laguna Azul and Laguna Potrok Aike were suited for the intended investigations. Therefore, monitoring efforts (pollen, diatoms, stable isotopes) were carried out regionally and process studies (sediment flux, meteorology, hydrology, physical limnology) focussed on the two crater lakes and their catchment areas. Based on these results the second phase of SALSA concentrated on obtaining and analysing long sediment cores from these lakes.

In this report we focus on the climatic interpretation obtained within the project SALSA. For site descriptions, techniques applied e.g. for coring or for laboratory analyses, please refer to the corresponding publications. To receive an impression of the amount of data collected, a summary is displayed in Fig. 1 for Laguna Azul and Laguna Potrok Aike. The mean temporal resolution of logging data is 7.2/7.2 (Laguna Azul/Laguna Potrok Aike), for physical and geochemical data 8.5/8.4, for pollen 43.1/62.3, for diatoms 94.0/98.2 and for stable isotopes 20.1/32.2 years/sample. The lower resolution, especially of the paleobiological data, is related to the time consuming analyses.

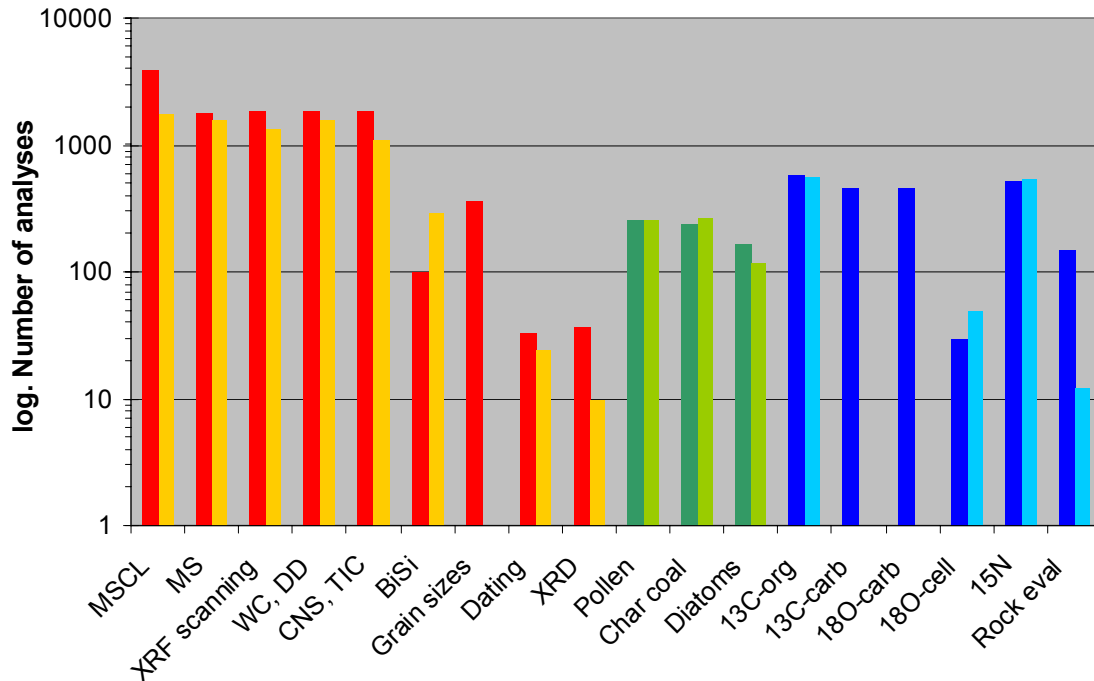


Fig. 1: Number of analyses carried out in the framework of the project SALSA with dark colours related to Laguna Potrok Aike and pale colours related to Laguna Azul. In red: SALSA I, green: SALSA II, blue: SALSA III; note logarithmic scale on y-axis; MSCL: multi sensor core logger, MS: magnetic susceptibility; XRF scanning: x-ray fluorescence technique to determine 13 major elements; WC, DD: water content and dry density; CNS, TIC: total carbon, nitrogen, sulphur, organic and inorganic carbon; BiSi: biogenic silica; dating includes radiocarbon ( $^{14}\text{C}$ ) and optically stimulated luminescence (OSL) techniques; XRD: mineralogical investigation applying x-ray diffraction techniques; stable isotope analyses were carried out on bulk organic matter (org), carbonates (carb) or cellulose (cell), rock eval includes oxygen and hydrogen indices (OI, HI).

Abb. 1: Anzahl an Analysen, die im Rahmen von SALSA durchgeführt wurden. Achtung: Y-Achse im logarithmischen Maßstab. Die dunkleren Farbtöne beziehen sich auf die Laguna Potrok Aike und die helleren auf die Laguna Azul, rot: SALSA I, grün: SALSA II, blau: SALSA III. MSCL: Multi Sensor Core Logger, MS: magnetische Suszeptibilität, XRD scanning: Röntgenfluoreszenz-Analysen zur Bestimmung von 13 Hauptelementen, WC, DD: Wassergehalt und Trockendichte, CNS, TIC: gesamter Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel, organischer und anorganischer Kohlenstoff, BiSi: biogenes Silizium, Dating umfasst Radiokohlenstoff- ( $^{14}\text{C}$ -) und optisch stimulierte Lumineszenz-Datierungen (OSL), XRD: mineralogische Untersuchungen mittels Röntgendiffraktometrie, Bestimmungen der stabilen Isotope wurden an der gesamten organischen Substanz (org), an Karbonaten (carb) und an Zellulose (cell) durchgeführt, Rock eval: Bestimmung des Sauerstoff- und Wasserstoff-Indexes (OI, HI).

Zolitschka, B., Schäbitz, F., Lücke, A., Wille, M., Mayr, C., Ohlendorf, C., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Corbella, H., Ercolano, B., Fey, M., Habertzettl, T., Maidana, N.I., Paez, M. and Schleser, G.H. (2004). Climate changes in Santa Cruz (southern Patagonia, Argentina) inferred from crater lake sediments – The multi-proxy approach of SALSA. *PAGES Newsletter* 12: 9-11.

#### 1. 4 Regional survey

The study area of Southern Patagonia, especially the Pali Aike Volcanic Field with its many craters and maars, hitherto was never investigated with regard to climate and environmental reconstruction based on lakes as natural archives. Therefore, the inspection of satellite images was the first step to select suitable locations for field work. We thus started to study the physical limnology and surface sediments of following lakes within or very close to the

Pali Aike Volcanic Field: Laguna Arenas Negras, Laguna Azul, Laguna Bismarck, Laguna Carolina, Laguna Condor, Laguna Dos, Laguna Esperanza, Laguna Maar Tito, Laguna Potrok Aike, Laguna Rincon de los Morros, Laguna Travesía, Laguna Tres and Laguna Uno. Only for Laguna Azul and Laguna Potrok Aike gravity cores were obtained. Moreover, lakes towards the North of the Pali Aike Volcanic Field were investigated for comparison and subsampled with a gravity corer. These lakes include Laguna las Vizcachas, Laguna Cháltel and Lago del Desierto.

The multitude of lakes in the region is ideal to set up training sets necessary for the development of transfer functions for quantitative climate reconstruction. These can successively be applied to long sediment records which currently exist for the two lake sites of Laguna Azul and Laguna Potrok Aike.

- Fey, M., Maidana, N.I., Mayr, C., Wille, M., Corbella, H., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Ohlendorf, C., Paez, M.M., Quintana, F.A., Schäbitz, F., Schleser, G.-H. & Zolitschka, B. (in prep.): *Palaeoenvironmental changes in southern Patagonia during the last 4.5 ka as inferred from lake sediments of Laguna Cháltel (Argentina)*.
- Fey, M., Korr, C., Maidana, N.I., Quintana, F.A., Dietrich, S., Corbella, H., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Paez, M.M., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B. (in prep.): *Palaeoclimate changes during the last 1600 years inferred from the sediment record of a cirque lake in southern Patagonia (Laguna las Vizcachas, Argentina).- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Kastner, S.: *Reconstructing 1500 yrs of hydrological variation derived from varved proglacial sediments of Lago del Desierto, eastern margin of the South Patagonian Icefield (Argentina, in prep.)*.
- Korr, C., 2006. *Paläoumweltrekonstruktion der letzten 1600 Jahre an Hand von Sedimenten aus dem Karssee Laguna las Vizcachas (Patagonien, Argentinien)*. Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Bremen, 81 S.
- Zolitschka, B., Schäbitz, F., Lücke, A., Clifton, G., Corbella, H., Ercolano, B., Haberzettl, T., Maidana, N., Mayr, C., Ohlendorf, C., Oliva, G., Paez, M.M., Schleser, G.H., Soto, J., Tiberi, P., Wille, M. (2006). *Crater lakes of the Pali Aike Volcanic Field as key sites of paleoclimatic and paleoecological reconstructions in southern Patagonia, Argentina*. *Journal of South American Earth Sciences* 21: 294-309.

## 1.5 Modern process studies

Since the start of the project SALSA we established an extensive monitoring programme, especially in and around Laguna Potrok Aike and Laguna Azul. This includes the meteorological station run by INTA in close proximity to the lake. Moreover, thermistors were installed at various water depths attached to a mooring string in the lake to monitor seasonal temperature changes and mixing processes of the water body. Attached to this mooring were sediment traps and a pressure sensor. The latter has recorded lake level fluctuations continuously. This on-site monitoring effort is important for a deeper understanding of sediment forming processes because terminal lakes like Laguna Potrok Aike or Laguna Azul are very sensitive to hydrological changes.

In addition, a regional effort was initiated to set up transects with pollen traps and to collect water samples and modern reference samples of various organic matter types for stable isotope measurements. Information about the regional hydrology and the variability of the isotope composition of lake waters from Laguna Azul and Laguna Potrok Aike, of regional precipitation and groundwaters are an essential prerequisite for the establishment of isotope-climate transfer functions leading to quantitative climate reconstructions. Likewise, knowledge about the isotopic labelling of potential allochthonous and autochthonous sources of organic matter (e.g. soils, higher plants) contributing together with the lacustrine phytoplanktonic primary production to bulk organic matter preserved in the lacustrine sediments is necessary. We were able to maintain the effort for continuous seasonal water sampling for both lakes and for sampling of organic matter reference samples through the close cooperation with Argentine colleagues during almost the complete SALSA period.

### 1.5.1 Meteorology

The eastern part of southern Patagonia is a semiarid and cold semidesert with steppe vegetation lacking any well-defined rainy season. A strong precipitation gradient exists between the west and the east coast of South America caused by the topography of the continent. The Southern Hemispheric Westerlies (SHW) transport humid air from the Pacific Ocean to the Andes leading to annual precipitation sums of 4000-6000 mm along the west coast (Weischet, 1996). In the rain shadow east of the Cordillera, precipitation decreases to <400 mm and in the Pali Aike Volcanic Field even to <300 mm (Gonzalez & Rial, 2004). At the Potrok Aike meteorological station occasionally values of 150 mm have been observed. The SHW across Patagonia are characterized by high wind speeds with mean annual values of  $7.4 \text{ ms}^{-1}$  at Río Gallegos and maxima during summer. Wind direction is primarily from the southwest and west shifting occasionally to northwest (Weischet, 1996; Baruth et al., 1998). The instrumental meteorological record of the Río Gallegos weather station exists since 1931 but is rather fragmentary. It shows an annual mean precipitation sum of 250 mm and a mean annual temperature of  $7.4^\circ\text{C}$  with a July (winter) minimum of  $+1.0^\circ\text{C}$  and a January (summer) maximum of  $13.0^\circ\text{C}$ . Both mean annual temperature and annual precipitation sum for the Potrok Aike meteorological station (990 m distance to the lake and run by INTA since January 1999) are 30-40% lower compared to the Río Gallegos weather station near the coast. While the differences in temperature can be explained by the increasing degree of continentality towards the west, the discrepancy in precipitation points towards an eastern source region for rainfall events that may be related to the so-called "polar outbreaks". This assumption has been confirmed by statistical analysis of Potrok Aike meteorological data (Fig. 2) demonstrating that the rare winds from easterly directions bring proportionally much more precipitation than other synoptic situations. Precipitation is thus an indicator for the strength of SHW and links hydrological data to the regional synoptic situation and to expected latitudinal shifts of SHW.

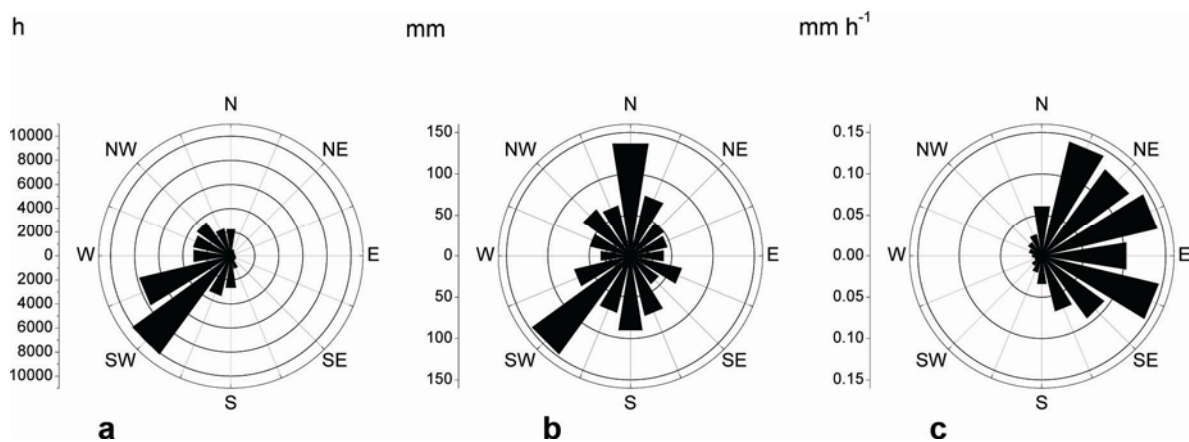


Fig. 2: Meteorological data of Laguna Potrok Aike from 42,212 hourly measurements of an automatic weather station between January 7, 1999 and May 6, 2005. Given are (a) frequency of wind directions of hourly (h) observations, (b) precipitation sum per wind direction in mm and (c) the quotient of precipitation sum and frequency of the respective wind direction (Mayr et al., 2007).

Abb. 2: Meteorologische Daten der Laguna Potrok Aike Messstation. Dargestellt sind 42.212 stündliche Messungen zwischen dem 7. Januar 1999 und dem 6. Mai 2005. (a) Häufigkeiten der Windrichtungen basierend auf stündlichen Messungen; (b) Niederschlagssummen je Windrichtung in mm und (c) Quotient aus Niederschlagssumme und Windrichtungshäufigkeiten in  $\text{mm h}^{-1}$  (Mayr et al., 2007).

### 1.5.2 Physical limnology

Laguna Potrok Aike is a 100 m deep and less than 770 ka old maar lake with a surface area of  $7.58 \text{ km}^2$  and few episodic surface inflows. The lake is mostly fed by groundwater and currently has no surface outflow. As a surficially closed lake system it reacts very sensitive to hydrological variations. This is evidenced by a multitude of surficial (up to +25 m above lake level) and submerged (down to -35 m below lake level) lake level terraces. Morphometric

data reveal a significant influence of the catchment area (estimated to a size of ca 200 km<sup>2</sup>) on the lake system. Therefore, a thick sedimentary infill must be expected. Water profile data show that there is almost no stratification of the water column under present-day conditions (Fig. 3). This is due to the strong SHW that enforce polymictic conditions and hardly allow the formation of a thermally stratified water body during southern summers. For this reason, oxygen is constantly available even in the hypolimnion (Fig. 4) and thus did not allow formation and preservation of annual laminations. Instead and due to the oligotrophic character of the lake, even most of the organic compounds are decomposed leaving behind a dominantly minerogenic sediment record.

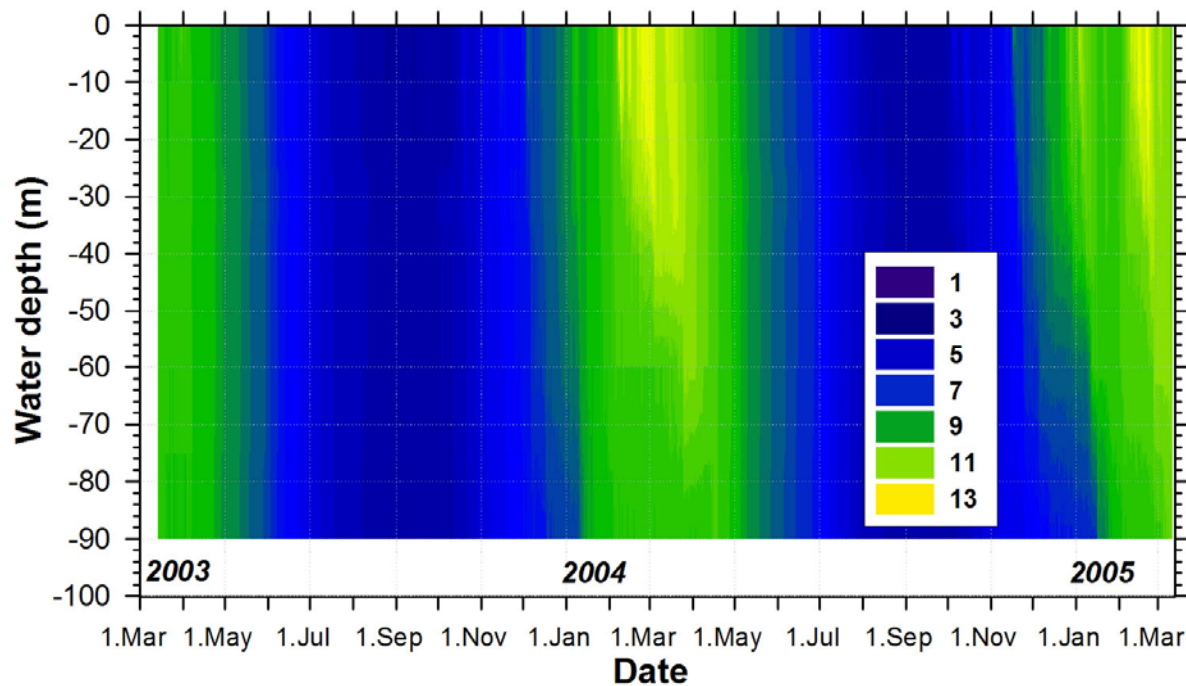


Fig. 3: High resolution water temperature data (thermo isopleths) recorded with 6 hourly resolution by 7 thermistors attached to a mooring at the deepest part of Laguna Potrok Aike (Zolitschka et al., 2006).

Abb. 3: Zeitlich hochauflösende Wassertemperaturdaten (Thermoisoplethendiagramm), gemessen mit stündlicher Auflösung von 7 Thermistoren, die an einem Mooring im tiefsten Bereich der Laguna Potrok Aike installiert sind (Zolitschka et al., 2006).

For the second site, Laguna Azul, the limnological situation is completely different. This lake is a 56 m deep and 10 ka young crater lake with a surface area of 0.15 km<sup>2</sup> and has neither inflow nor outflow. Due to the position of the lake level ca. 60 m below the crater rim the lake is well protected against the wind. The wind-sheltered position in combination with the much smaller size of the lake is presumably the reason why only one subaerial lake level terrace (+2 m above the present lake level) is preserved. Groundwater inflow plays a major role for the water balance of Laguna Azul as well. Due to the young age of this crater, the sedimentary record is restricted to only 6.5 m.

Size and wind protection result in a completely different lake system at Laguna Azul compared to Laguna Potrok Aike. Water profile data evidence a clear stratification during summer (Fig. 5), i.e. dimictic conditions. Thus, oxygen is seasonally depleted in the hypolimnion (Fig. 4) and, in combination with eutrophic nutrient conditions, primary production in the lake high and plenty of organic matter is deposited. Sediments from this lake are of an organic type and consist mainly of diatomaceous ooze. However, despite the large water depth and seasonal stratification no laminations are present which is probably related to the strong mixing during the remaining seasons of the year.



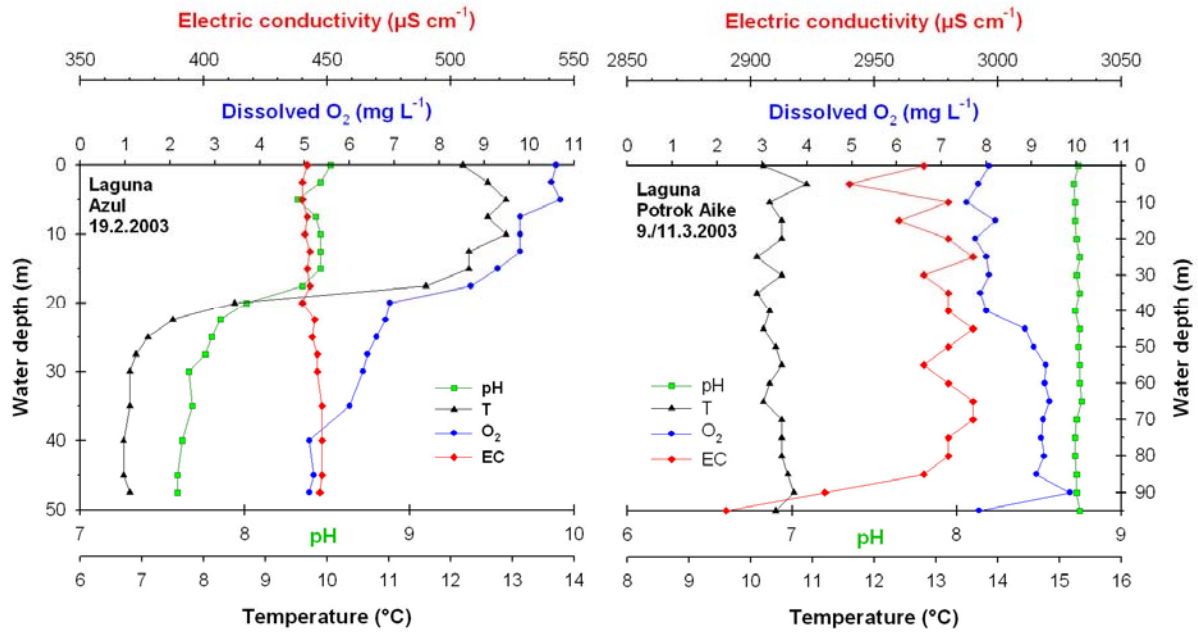


Fig. 4: Depth profiles of electric conductivity, dissolved oxygen, pH, and temperature of Laguna Azul (56 m maximum water depth) and Laguna Potrok Aike (100 m maximum water depth) from the year 2003 (Zolitschka et al., 2006).

Abb. 4: Tiefenprofile der Parameter elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff, pH und Temperatur, gemessen im Jahr 2003 in der Laguna Azul bei 56 m maximaler Wassertiefe und in der Laguna Potrok Aike bei 100 m maximaler Wassertiefe (Zolitschka et al., 2006).

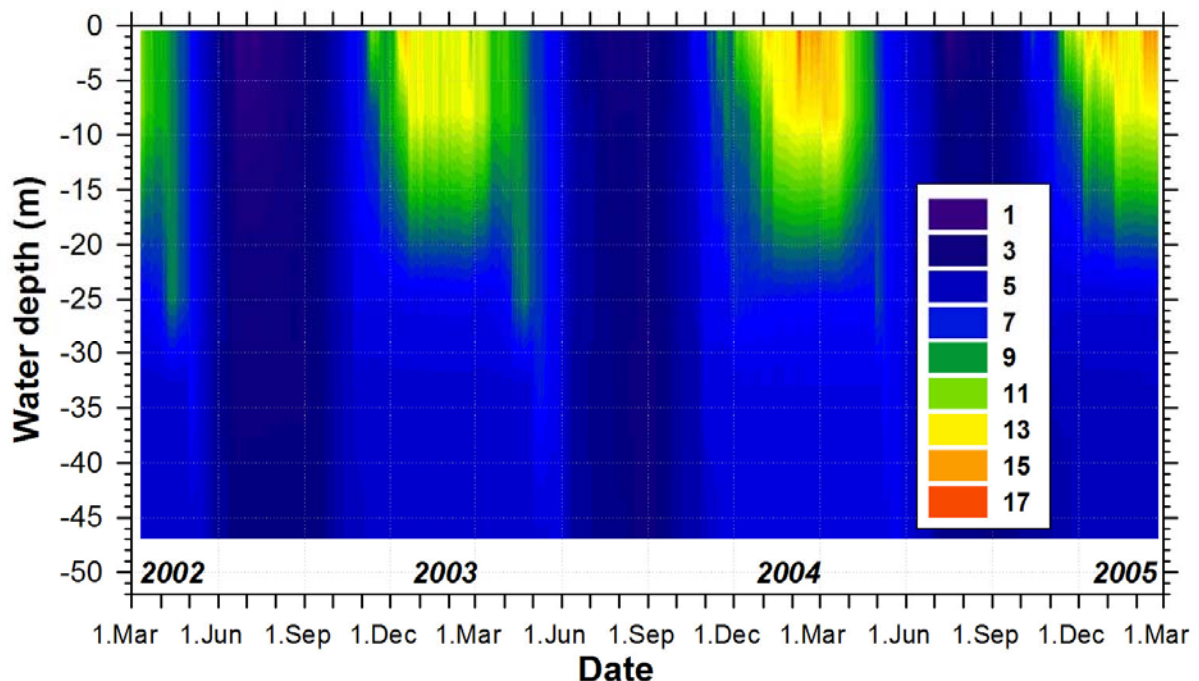


Fig. 5: High resolution water temperature data (thermo isopleths) recorded with 2 to 6 hourly resolution by 6 thermistors attached to a mooring string at the deepest part of Laguna Azul (Zolitschka et al., 2006).

Abb. 5: Zeitlich hochauflösende Wassertemperaturdaten (Thermoisoplethendiagramm), gemessen mit 2-6 stündlicher Auflösung von 6 Thermistoren, die an einem Mooring im tiefsten Bereich der Laguna Azul installiert sind (Zolitschka et al., 2006).



### 1.5.3 Hydrology

Several lake level terraces at Laguna Potrok Aike witness drastic lake level variations during the past. Studies of recent processes indicate that changes of the lake water volume (annual lake level variations of up to 1 m between summers of successive years were observed) lead to changes in the carbonate system and the oxygen isotopic composition of the lake water, which opens the possibility to trace such changes in the sedimentary record.

Meteorological together with stable isotope data, bathymetric information of the lake and calculations of the local radiation balance were used to perform hydrological balance calculations by combining an energy-budget with a bulk-transfer method (Brutseart, 1982; Penman, 1948). The obtained lake volume changes were translated into lake level changes between Jan. 2001 and Dec. 2004. For the time period Mar. 2003 until Dec. 2004 calculated lake level changes were compared to pressure sensor data (Fig. 6). The fact that calculated lake levels closely follow the measured ones indicates that lake level mainly is driven by the precipitation/evaporation ratio.

An analysis of the meteorological factors that contribute to the hydrological balance calculation reveals that precipitation, wind strength and wind direction exert an important influence on the hydrological balance of Laguna Potrok Aike. In particular, it is inferred that lake levels decrease during periods of persistently high wind speed (mostly from westerly directions) whereas they increase during periods with a more frequent occurrence of winds from easterly directions. As the lake level, i.e. the lake water volume, controls the lake water carbonate system, lake volume changes are archived in the sedimentary record through changes in the sediment carbonate content. In a first approximation the degree of supersaturation of the lake water with respect to calcite and thus the potential for lake internal calcite precipitation is a function of lake water volume, which was also confirmed by sediment trap studies. Hence, phases of high sedimentary calcite concentration represent periods with low lake levels. However, a quantification of this relationship is not admissible over long time intervals and we therefore attempt to combine this water volume reconstruction with the stable isotope approach.

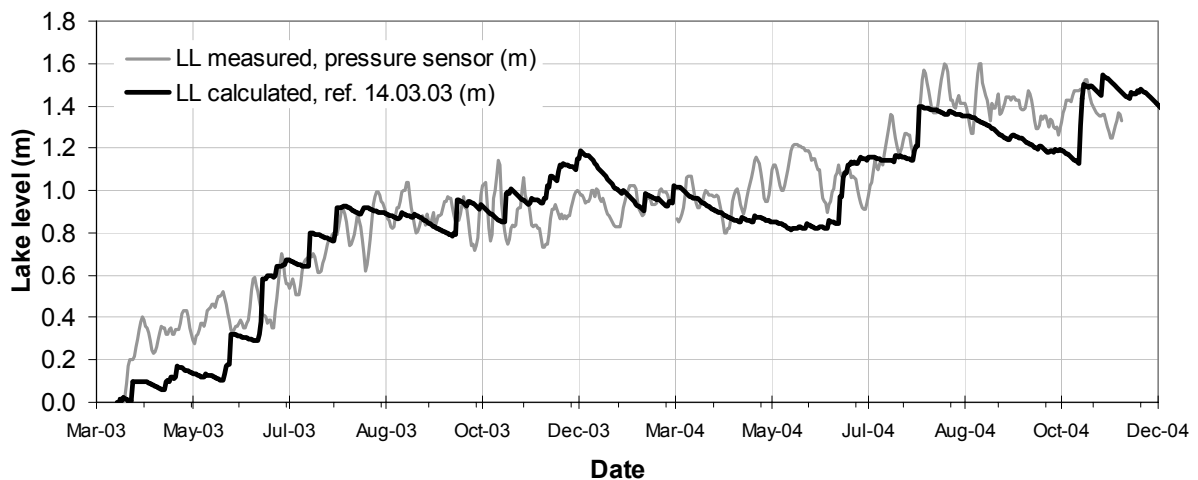


Fig. 6: Lake level (LL) of Laguna Potrok Aike between Mar. 2003 and Dec. 2004 as measured by a pressure sensor installed on a mooring string in 27.5 m water depth in comparison to a lake level curve that was calculated using an energy-budget/bulk-transfer approach. The reference lake level is of March 14, 2003 (Ohlendorf et al., in prep.).

Abb. 6: Seespiegelvariationen (LL) der Laguna Potrok Aike im Zeitraum März 2003 bis Dezember 2004, gemessen mit einem Drucksensor, der in 27.5 m Wassertiefe an einem Mooring installiert ist. Im Vergleich dazu ist die mit einem Energiebilanz-Modell berechnete Seespiegelkurve dargestellt. Alle Seespiegelangaben beziehen sich auf den Referenzwert vom 14.3.2003 (Ohlendorf et al., in Vorb.).

## 1.6 Stable isotope hydrology

In contrast to the relatively good availability of regional weather data, nothing was known of the regional isotope hydrology of meteoric waters or lake waters of the Pali Aike Volcanic Field. Depth profiles of the oxygen isotope composition of the lake waters recorded during the years 2002 to 2004 evidence a clear difference in the hydrological systems of the lakes. Laguna Azul shows a clear isotopic stratification in accordance with the respective temperature profile (Fig. 7a, b). During austral summers, epilimnic surface waters are isotopically heavier due to evaporative enrichment of  $^{18}\text{O}$  compared to hypolimnetic bottom waters that remain depleted. Comparison with the respective temperature profiles reveals a classical stratification situation separating the upper water body from a lower water body during summer month causing a restriction for the exchange of water, matter and dissolved nutrients between these depth regions. Despite its depth of 100 m the situation for Laguna Potrok Aike differs fundamentally. Due to the exposition of the lake to the westely winds and the resulting strong fetch circulation of the water body prevails throughout the whole year, only a weak stratification is implied by the temperature data for 2004, and a seasonal evaporative oxygen isotope enrichment is invisible (Fig. 7c, d). Nevertheless, evaporative effects during dry summers are indicated by high  $\delta^{18}\text{O}$  values of the entire water column as observed for 2002 (Fig. 7c).

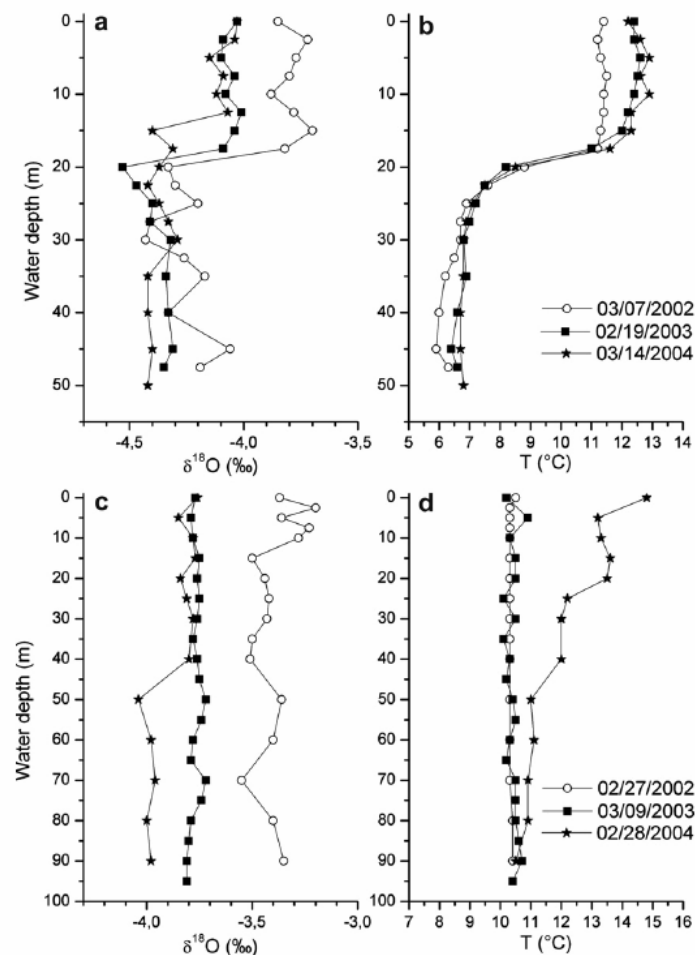


Fig. 7: Depth profiles of lake water  $\delta^{18}\text{O}$  in austral summers 2002 to 2004 for Laguna Azul (a) and Laguna Portok Aike (c). Mark the difference in mixing types between the lakes illustrated in the lake water temperature profiles of Laguna Azul (b) and Laguna Portok Aike (d) (Mayr. et al., 2007).

Abb. 7: Tiefenprofile der Sauerstoffisotopenzusammensetzung im Seewasser der Laguna Azul (a) und der Laguna Potrok Aike (c) während der Südsommer 2002 bis 2004. Der Unterschied im Mixistyp der Seen wird durch die entsprechenden Wassertemperaturprofile von Laguna Azul (b) und Laguna Potrok Aike (d) verdeutlicht (Mayr. et al., 2007).

Long-term changes in one or more components of the hydrological cycle, namely precipitation and evaporation, will nevertheless impact on both lakes in a similar way. Moreover, in such a limnological situation oxygen isotope values of carbonate minerals that precipitated in the water column of Laguna Portok Aike and preserved in the sedimentary column are not blurred by seasonal evaporative enrichment effects but may directly mirror the oxygen isotope composition of the complete water column. Additional investigations of the carbon isotope composition of dissolved inorganic carbonate (DIC) proofed that primary production by lacustrine algae is restricted to the upper 18 m of Laguna Azul. This is a fundamental finding for the interpretation of the sedimentary organic matter carbon isotope record.

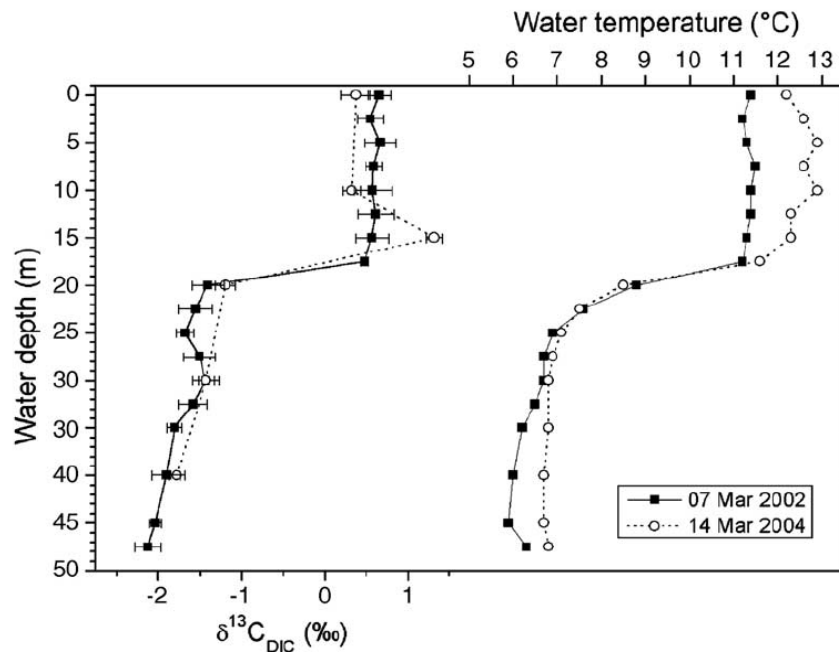


Fig. 8: Depth profiles of dissolved inorganic carbon ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ) in Laguna Potrok Aike. Isotopic enrichment of the DIC pool in the course of carbon fixation by algae in the photic zone and the sharp transition to the aphotic zone is evident. Temperatures profiles are shown for comparison (Mayr et al., 2005).

Abb. 8: Tiefenprofile des gelösten anorganischen Kohlenstoffs ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ) in Laguna Potrok Aike. Die Anreicherung von  $^{13}\text{C}$  im DIN Pool aufgrund der Kohlenstofffixierung von Algen in der photischen Zone sowie der scharfe Übergang in die aphotische Zone sind zu erkennen. Temperaturprofile verdeutlichen die Schichtungssituation (Mayr et al., 2005).

In addition, water chemistry and stable isotope data of surface waters from 23 lakes in the Patagonian steppe, but also from wells, springs, streams as well as precipitation, groundwater and atmospheric water vapour were sampled for isotope analyses. These samples allowed establishing the first well founded local meteoric water line (LMWL) of this region (southeastern Patagonia, Argentina) describing the present isotopic composition of precipitation (Fig 9). In parallel, the local evaporation line (LEL) has been determined based on the isotopic composition of lake surface waters. The developed relations between  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  enable differentiation between isotopic effects caused by condensation temperature and local evaporation. A stable isotope approach was further used to estimate the water balances of Laguna Potrok Aike and Laguna Azul. According to that method, about 50% to 60% of the water entering these lakes via surface and subsurface inflow evaporates. This testifies a considerable flow of lake waters into the groundwater.

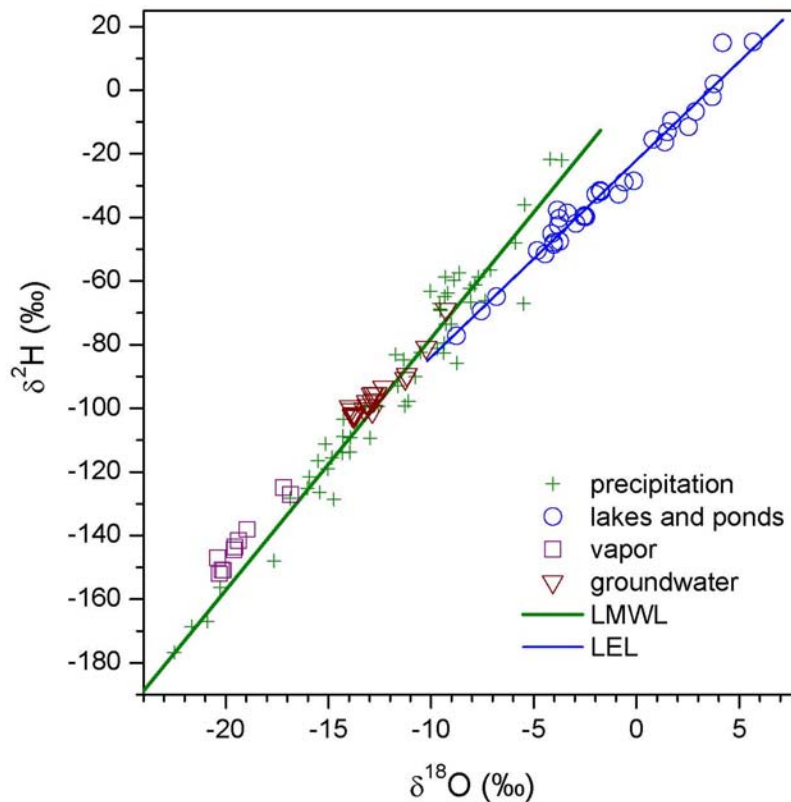


Fig. 9: Stable isotope values of precipitation (Río Gallegos), surface water, groundwater and atmospheric vapour in  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  space (Mayr et al., 2007). Precipitation data describe the Local Meteoric Water Line (LMWL) while surface waters express the Local Evaporation Line (LEL). The intersection of both lines describes the isotopic composition of local groundwater and precipitation.

Abb. 9: Isotopenzusammensetzung des Niederschlags (Río Gallegos), von Oberflächenwässern, Grundwässern und atmosphärischem Wasserdampf im  $\delta^2\text{H}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  Raum (Mayr et al., 2007). Die Niederschlagsdaten beschreiben die Local Meteoric Water Line (LMWL) während die Local Evaporation Line (LEL) durch die Oberflächenwässer repräsentiert wird. Der Schnittpunkt der beiden Geraden definiert die mittlere isotopische Zusammensetzung der lokalen Grundwässer und Niederschläge.

The isotopic composition of precipitation, however, is not solely influenced by the condensation temperature of atmospheric moisture but also by the origin and trajectory of the moisture bringing air mass. Thus, we investigated the relation between the isotopic composition of precipitation events and wind direction. We found that rainfalls from air masses coming from westerly directions were consistently more depleted in heavy isotopes than those from easterly directions (Fig. 19). Our data suggest that different sources of moisture play indeed an important role as cause for isotope variations in Patagonian precipitation, as air masses crossing the Andes are increasingly depleted in  $^{18}\text{O}$  due to rainout while air masses from easterly directions will bring rains from much nearer of their origin in the Atlantic ocean that are accordingly enriched in the heavy isotopes. Thus, short-term but also long-term variability of the isotopic composition of precipitation in the Pali Aike Volcanic Field may originate to a greater extent from varying sources of moisture than from changes in evaporation or condensation temperature.

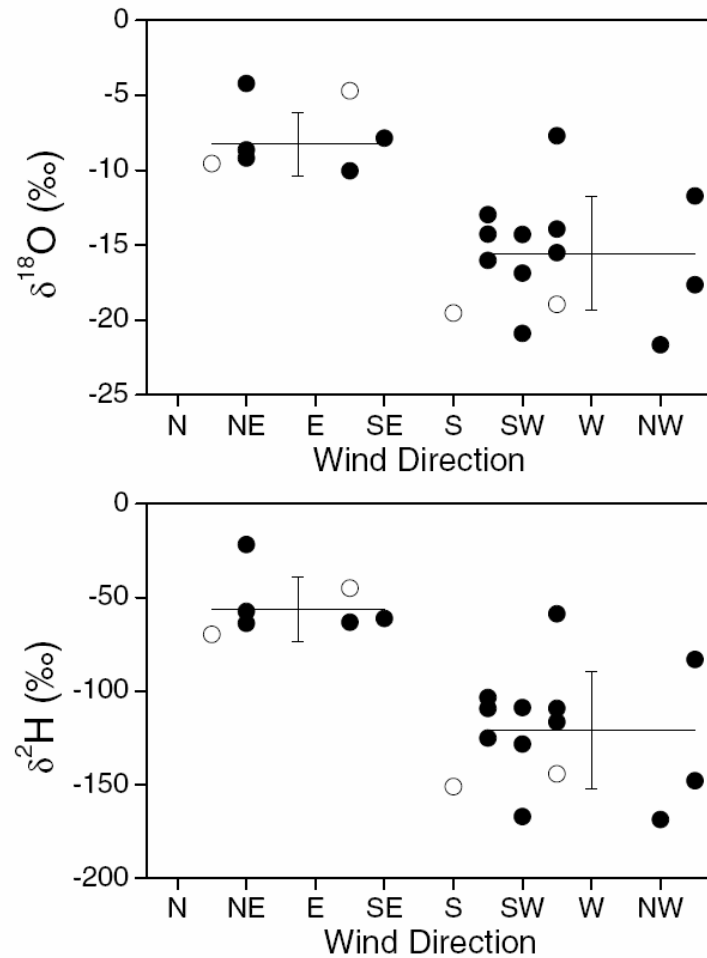


Fig. 10:  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  values of precipitation events at Rio Gallegos (filled circles) and Laguna Potrok Aike (open circles) vs. wind direction during the respective days. Bars give standard deviations for isotope means of rainfalls from westerly and easterly air masses (Mayr et al., 2007).

Abb. 10:  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^2\text{H}$  Werte der Niederschläge in Rio Gallegos (geschlossene Kreise) und an der Station Laguna Potrok Aike (offene Kreise) in Abhängigkeit von der vorherrschenden Windrichtung der entsprechenden Tage. Balken geben Standardabweichungen für die Mittelwerte der Niederschläge aus westlichen und östlichen Luftmassen an (Mayr et al., 2007).

- Haberzettl, T., Fey, M., Lücke, A., Maidana, N., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & B. Zolitschka (2005). Climatically induced lake level changes during the last two millennia as reflected in sediments of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia (Santa Cruz, Argentina). *Journal of Paleolimnology* 33: 283-302.
- Mayr, C., Lücke, A., Stichler, W., Trimborn, P., Ercolano, B., Oliva, G., Ohlendorf, C., Soto, J., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M., Zolitschka, B. (2007): Precipitation origin and evaporation of lakes in semi-arid Patagonia (Argentina) inferred from stable isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ). *Journal of Hydrology* 334: 53-63.
- Mayr, C., A. Lücke, H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, N.I. Maidana, C. Ohlendorf, F., Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille and B. Zolitschka (submitted.). Isotopic and geochemical variability of sedimentary organic matter from Laguna Potrok Aike reflect hydrological changes in semi-arid Patagonia during the last 16,000 years. *Chemical Geology*.
- Mayr, C., M. Wille, T. Haberzettl, M. Fey, S. Janssen, A. Lücke, V. Markgraf, C. Ohlendorf, G. Oliva, F. Schäbitz, G.-H. Schleser, B. Zolitschka (2007). Holocene variability of the southern hemisphere westerlies in South America. *Quaternary Science Reviews* 26: 579-584.
- Ohlendorf, C., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, G. Oliva, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille and B. Zolitschka (in prep.): A comparison of hydrological balance

calculations with instrumental lake level data for Laguna Potrok Aike (Argentina). *Climatic Change*.

Schäbitz, F., M. Wille, M. Paez, F. Quintana, S. Janssen, H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, G.-H. Schleser & B. Zolitschka (in prep.): Pollen based approach of quantitative climate reconstruction for the long core of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology*.

Schäbitz, F., Paez, M.M., Mancini, M.V., Quintana, F.A., Wille, M., Corbella, H., Haberzettl, T., Lücke, A., Prieto, A.R., Maidana, N., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schleser, G.H. & Zolitschka, B. (2003). Estudios paleoambientales en lagos volcánicos en la Región Volcánica de Pali Aike, sur de Patagonia (Argentina): palinología. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva Serie 5*: 301-316.

Zolitschka, B., Schäbitz, F., Lücke, A., Clifton, G., Corbella, H., Ercolano, B., Haberzettl, T., Maidana, N., Mayr, C., Ohlendorf, C., Oliva, G., Paez, M.M., Schleser, G.H., Soto, J., Tiberi, P., Wille, M. (2006). Crater lakes of the Pali Aike Volcanic Field as key sites of paleoclimatic and paleoecological reconstructions in southern Patagonia, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences 21*: 294-309.

## 1.7 Climate changes during the last millennium

The sediment record from Laguna Potrok Aike exhibits distinct changes in sedimentary parameters that indicate climatic and hydrological variations during the last millennium. In combination with results of our monitoring approach this data suggests that the content of total inorganic carbon (TIC) mirrors – as a very sensitive lake level indicator – changes of the water volume of the lake and thus reflects variations in the hydrological cycle. Therefore, TIC is one proxy parameter that can be used to reconstruct hydrological variations for the last 1600 years for Southern Patagonia (Fig. 11) from a gravity core of Laguna Potrok Aike.

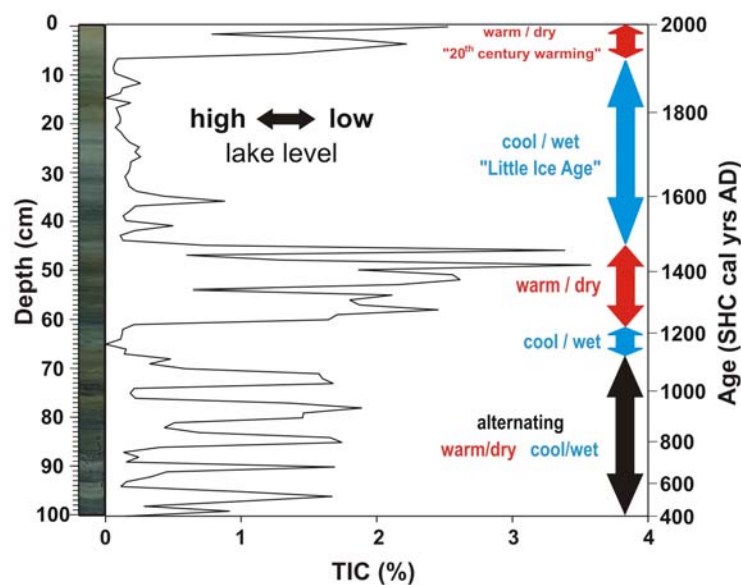


Fig. 11: Total inorganic carbon (TIC) record vs. depth (left) and time (right) as a proxy for lake level fluctuations reflecting hydrological variations during the last 1600 years based on a 1 m gravity core from Laguna Potrok Aike. Climatic implications are indicated (Haberzettl et al., 2005). SHC refers to the southern hemisphere  $^{14}\text{C}$  calibration curve (McCormack et al., 2002).

Abb. 11: Gesamter anorganischer Kohlenstoff (TIC), aufgetragen gegen die Tiefe (links) und gegen die Zeit (rechts), ist ein Proxy für Seespiegelschwankungen. Diese Daten von einem 1 m langen Falllotkern aus der Laguna Potrok Aike dokumentieren hydrologische Variationen während der letzten 1600 Jahre, deren klimatische Indikationen gekennzeichnet sind (Haberzettl et al., 2005). SHC bezieht sich auf die südhemisphärische Kalibrationskurve für  $^{14}\text{C}$  (McCormack et al., 2002).

Stable isotope investigations of a transect of gravity cores from the shallow to the deep water areas of Laguna Azul gave further evidence for regional hydrological changes during the last millennium. A distinct relation between the absolute value of carbon isotope composition in a single core and its position with respect to the shoreline became evident, while the relative variations showed up in every core investigated in a similar way (Fig. 12).

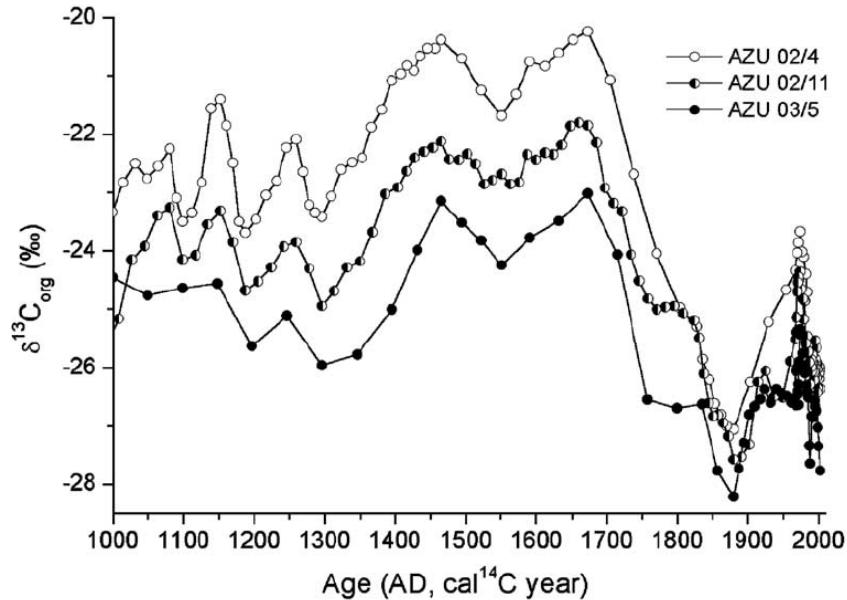


Fig. 12: Differences in the absolute  $\delta^{13}\text{C}$  values from sediment cores along a transect from the NW shallow water areas (AZU 02/4) to the southern part of the deep central basin (AZU 03/5) of Laguna Azul given on standardized sediment depths. Core AZU 02/11 is located at an intermediate position. Note highest  $\delta^{13}\text{C}$  values in the core closest to the littoral zone and lowest values for the core from the central basin (Mayr et al., 2005).

Abb. 12: Unterschiede im Niveau der  $\delta^{13}\text{C}$  Werte von Sedimentkernen entlang einem Transekt vom nordwestlichen Flachwasserbereich (AZU 02/4) bis zum tiefen zentralen Becken (AZU 03/5) der Laguna Azul dargestellt auf standardisierten Tiefen. Der Kern AZU 02/11 ist in einer mittleren Wassertiefenlage positioniert (Mayr et al., 2005).

The gravity core nearest to the shore (AZU 02/4) revealed the highest carbon isotope values whereas the core located in the deep basin (AZU 03/5) revealed the lowest ones. This pattern is interpreted as the rising impact of organic matter derived from aquatic macrophytes on the sedimentary carbon isotope composition with increasing shore line proximity of the core. The interpretation is corroborated by the enriched carbon isotope composition of modern submerged macrophytes in the vicinity of the lake shore and the intermediate isotopic composition of shore sediments as evident from the modern reference sample approach (Fig. 13).

Further verification of our approach for the reconstruction of hydrological changes in southern Patagonia from Laguna Azul sediments may be gained from the investigation of sedimentary cellulose. The oxygen isotope composition of cellulose from lacustrine algae should express the respective value of the host waters during formation of cellulose. The data for the core investigated so far (AZU 02/4) express a negative correlation between the bulk carbon isotopes and the cellulose oxygen isotopes (Fig. 14). If the study of further cores could support this rather exciting finding the cause for lake level variations in southern Patagonia may unambiguously ascribed to fluctuating amounts of precipitation from the Atlantic region (polar outbreaks).

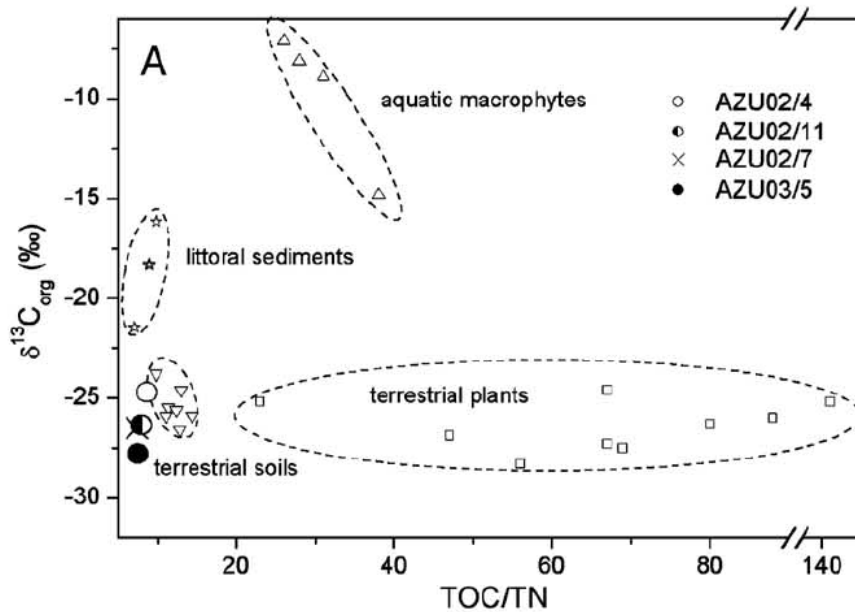


Fig. 13: Scatter plot of  $\delta^{13}\text{C}$  of organic matter vs. organic carbon content over total nitrogen content (TOC/TN) of diverse materials for Laguna Azul. Shown are data for modern soils, aquatic macrophytes, terrestrial plants and littoral sediments in comparison to the mean values of the uppermost sediment layers of investigated gravity cores (Mayr et al., 2005).

Abb. 13: Korrelationsdarstellung von  $\delta^{13}\text{C}$  der organischen Substanz gegen das Verhältnis von organischem Kohlenstoffgehalt zu Gesamtstickstoffgehalt (TOC/TN) für unterschiedliche Materialien am Standort Laguna Azul. Dargestellt sind Werte für moderne Böden, aquatische Makrophyten, terrestrische Pflanzen und ufernahe Sedimente im Vergleich zu den Mittelwerten der obersten Zentimeter der untersuchten Schwerelotkerne (Mayr et al., 2005).

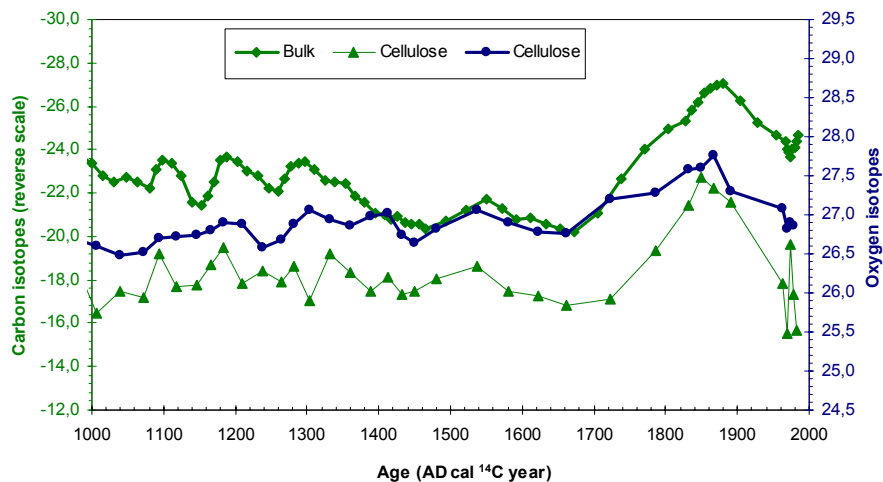


Fig. 14:  $\delta^{13}\text{C}$  values of bulk organic matter (reverse scale) compared to  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  values of sedimentary cellulose extracted from core AZU 02/4. Mark the preminent negative correlation between these parameters illustrating that higher lake levels ( $\delta^{13}\text{C}$ ) coincide with increasing isotopic composition of lake water ( $\delta^{18}\text{O}$ ).

Abb. 14:  $\delta^{13}\text{C}$  Werte der gesamten organischen Substanz (inverse Achse) sowie  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  Werte der sedimentären Zellulose extrahiert aus dem Kern AZU 02/4. Zu beachten ist die ausgeprägte Antikorrelation zwischen diesen Parametern, die den Zusammenhang von höheren Seespiegeln ( $\delta^{13}\text{C}$ ) mit ansteigender Isotopenzusammensetzung des Seewassers ( $\delta^{18}\text{O}$ ) beschreibt.



Based on these data, a multi-proxy climatic reconstruction was obtained for Laguna Azul including  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  as a proxy for the proximity of the coring site to the littoral zone during the last millennium (Fig. 15). A sequence of photographs of Laguna Azul from 1960 until today supports the interpretation that the lake level dropped considerably during the last 50 years. Therefore, besides TIC in Laguna Potrok Aike also  $\delta^{13}\text{C}$  values of organic matter in the sediments of Laguna Azul are indicative for water level fluctuations and can be readily used for a multi-proxy approach.

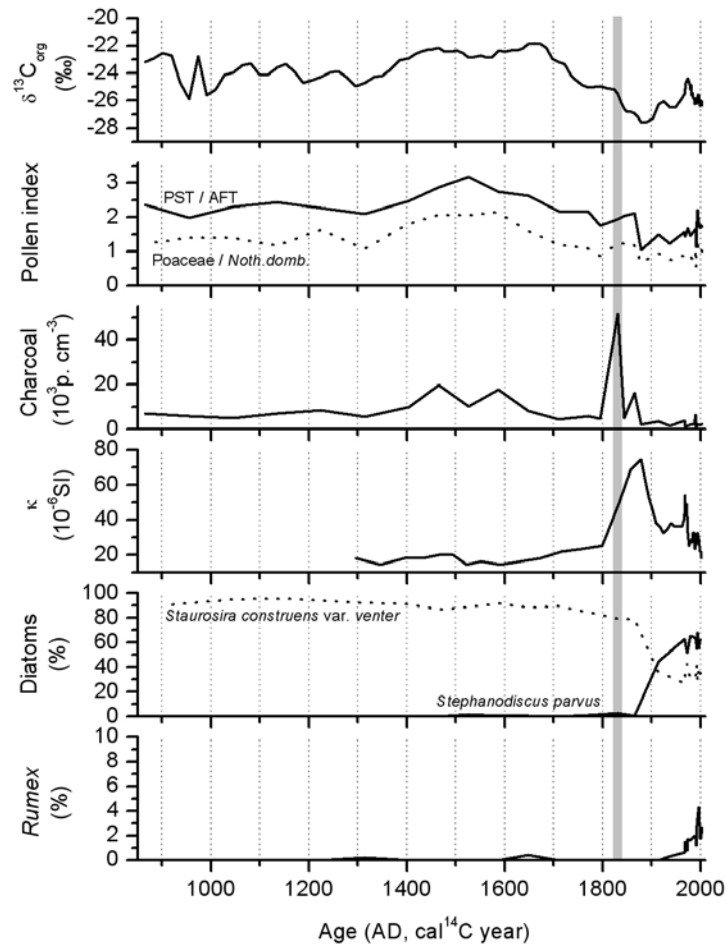


Fig. 15: Multiproxy sediment parameters from Laguna Azul. *Rumex*: pollen percentage of the European weed *Rumex acetosella* (sorrel),  $\kappa$ : magnetic susceptibility, Charcoal: accumulation rate of charcoal particles, Pollen index: given as ratios of Patagonian Steppe Taxa to Andean Forest Taxa (PST/AFT) and Poaceae to *Nothofagus dombeyi*-type,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : carbon isotope values obtained from bulk organic matter. All parameters exhibit significant hydrological changes during the last millennium. The charcoal peak is indicated by a hatched area throughout all parameters (Mayr et al., 2005).

Abb. 15: Multiproxy-Sedimentparameter der Laguna Azul. *Rumex*: Prozentwerte für den Pollen des von Europäern eingeführten Unkrauts *Rumex acetosella* (*Sauerampfer*);  $\kappa$ : Magnetische Suszeptibilität, Charcoal: Akkumulationsrate von Holzkohlepartikeln, Pollen index: angegeben ist das Verhältnis von Arten der Patagonischen Steppe zu Arten des andinen Waldes (PST/AFT) und von Poaceen zum *Nothofagus dombeyi* Typ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ : Kohlenstoffisotop-Werte bestimmt an der gesamten organischen Substanz. Alle Parameter zeigen deutliche hydrologische Veränderungen während des letzten Jahrtausends. Das Holzkohle-Maximum ist für alle Daten mit einem grauen Balken markiert (Mayr et al., 2005).

If the variations are not only a local effect but are of regional climatic significance, comparable signals should be detected in both sedimentary archives. However, not necessarily the parameter TIC needs to be generally valid, as Laguna Azul is not a clastic

but an organic-dominated depositional lake system. The comparison between the TIC and  $\delta^{13}\text{C}$  record reveals that both parameters have differing sensitivities towards changes in the regional hydrology. For example, due to the on-off mechanism of calcite precipitation the duration of the “Little Ice Age” (LIA) is considerably longer in the TIC record as compared to the  $\delta^{13}\text{C}$  signal (c.f. Fig. 11, 15).

The hydrological proxy TIC suggests that during the late Middle Ages (AD 1230-1480) the lake level was rather low representing a signal of the “Medieval Climate Anomaly” well-known for Southern Patagonia (Stine, 1994). This is supported by the dominance of the diatom species *Cyclotella agassizensis* associated with higher salinity, i.e. lower lake levels (Fig. 16). An increasing amount of steppe pollen since AD 1410 indicates again moist climatic conditions reaching a maximum around AD 1620 (Fig. 16). Constantly higher values of Poaceae may be interpreted as denser but not yet closed vegetation cover of the Patagonian steppe reflecting less water stress and higher lake levels. However, similar to the period from AD 1120-1240 more humid conditions could have been related to precipitation brought by a dominance of easterly winds. At the same time increases in  $\delta^{15}\text{N}$ , Fe and Ti (Fig. 16, 17) indicate intensified soil erosion most likely caused by the increased precipitation as expected from the high lake level.

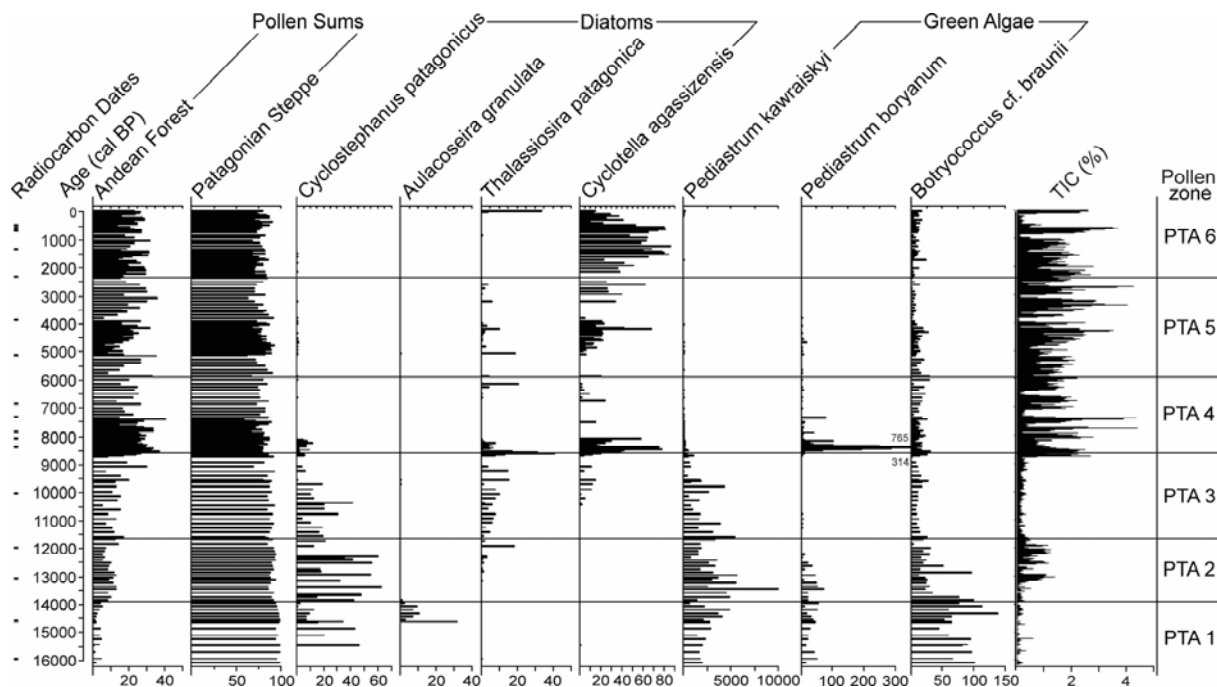


Fig. 16: Position of radiocarbon dates, pollen sums of Andean Forest and Patagonian Steppe taxa, percentages of selected diatoms and green algae from Laguna Potrok Aike (Wille et al., subm.).

Abb. 16: Lage der Radiokohlenstoffdatierungen, Pollensummen von Arten des andinen Waldes und der patagonischen Steppe sowie Prozentwerte ausgewählter Diatomeen- und Grünalgenarten aus der Laguna Potrok Aike (Wille et al., subm.).

From the early 15<sup>th</sup> to the late 18<sup>th</sup> century low values of TIC,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ , C/N-ratios and a decrease in the abundance of *Cyclotella agassizensis* point to high lake levels and therefore to wetter conditions. This is supported by subaerial shorelines dated to AD 1820 and 1870. TOC and TN indicate a drop in production and hence lower temperatures. The lake level remained high until the beginning of the 20<sup>th</sup> century. This cool and wet period is related to the “Little Ice Age” as documented for South America (Villalba et al., 2003). Subsequently, TIC indicates a lake level lowering starting around 1940 which is probably due to the 20<sup>th</sup> century warming coinciding with an overall recession of glaciers in Patagonia (Glasser et al., 2004). An increase in salinity is documented by the diatom species *Thalassiosira patagonica* as well. This diatom indicative of higher ionic concentration (Maidana, 1999) became

dominant in the year 2003 (Fig. 16). All major wet-dry cycles of the last millennium were thus reproduced (with independent proxies and on independently determined time scales) and support our hypothesis of the regional character of detected climate variations. Furthermore, climate reconstructions developed for Laguna Azul and Laguna Potrok Aike are corroborated by studies of other investigated lakes further to the north (Lago del Desierto, Laguna Cháitel, Laguna las Vizcachas). All analyses indicate that the detailed climate history is at least a regional perhaps even a signal for the steppe environment of southern Patagonia caused either by latitudinal shifts or by intensity variations of the SHW.

- Fey, M., Korr, C., Maidana, N.I., Quintana, F.A., Dietrich, S., Corbella, H., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Paez, M.M., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B. (in prep.): *Palaeoclimate changes during the last 1600 years inferred from the sediment record of a cirque lake in southern Patagonia (Laguna las Vizcachas, Argentina).*- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Fey, M., Maidana, N.I., Mayr, C., Wille, M., Corbella, H., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Ohlendorf, C., Paez, M.M., Quintana, F.A., Schäbitz, F., Schleser, G.-H. & Zolitschka, B. (in prep.): *Palaeoenvironmental changes in southern Patagonia during the last 4.5 ka as inferred from lake sediments of Laguna Cháitel (Argentina).*
- Haberzettl, T., 2006. *Late Quaternary hydrological variability in southeastern Patagonia – 45,000 years of terrestrial evidence from Laguna Potrok Aike. Dissertation, Institut für Geographie, Universität Bremen, 142 S.*
- Haberzettl, T., Fey, M., Lücke, A., Maidana, N., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & B. Zolitschka (2005). *Climatically induced lake level changes during the last two millennia as reflected in sediments of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia (Santa Cruz, Argentina).* *Journal of Paleolimnology* 33: 283-302.
- Haberzettl, T., Wille, M., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & Zolitschka, B. (2006): *Environmental change and fire history of southern Patagonia (Argentina) during the last five centuries.*- *Quaternary International*, 158/1: 72-82.
- Kastner, S.: *Reconstructing 1500 yrs of hydrological variation derived from varved proglacial sediments of Lago del Desierto, eastern margin of the South Patagonian Icefield (Argentina): in prep.*
- Korr, C., 2006. *Paläoumweltrekonstruktion der letzten 1600 Jahre an Hand von Sedimenten aus dem Karsee Laguna las Vizcachas (Patagonien, Argentinien). Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Bremen, 81 S.*
- Maidana, N.I., I. Izaguirre, A. Vinocur, G. Mataloni & H. Pizarro. 2005. *Diatomeas en una transecta patagónico-antártica.* *Ecología Austral* 1: 159-176
- Mayr, C., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Maidana, N.I., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G., Struck, U., Wille, M. & Zolitschka, B. (2005): *Palaeoenvironmental changes in southern Patagonia during the last millennium recorded in lake sediments from Laguna Azul.*- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 228: 203-227.
- Wille, M., Maidana, N.I., Schäbitz, F., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schleser, G.H. & Zolitschka, B.: *Vegetation and climate dynamics in southern South America: the microfossil record of Laguna Potrok Aike, Santa Cruz, Argentina.*- *Review of Palaeobotany and Palynology: in revision.*
- Zolitschka, B., Schäbitz, F., Lücke, A., Wille, M., Mayr, C., Ohlendorf, C., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Corbella, H., Ercolano, B., Fey, M., Haberzettl, T., Maidana, N.I., Oliva, G.E., Paez, M., Schleser, G.H. (2004): *Climate Change in southern Patagonia (Santa Cruz, Argentina) inferred from lake sediments: The multi-proxy approach of SALSA.* *PAGES News* 12 (2): 9-11.

## 1.8 Wet-dry cycles during the middle and late Holocene

Based on climate-sediment links that have been established via modern process studies, the TIC record of Laguna Potrok Aike is considered as a sensitive recorder of hydrological variations during the Holocene. Additionally, another proxy, the titanium (Ti) record was applied (Fig. 17). Ti contents is used as an indicator for clastic input to marine (Haug *et al.*, 2003) and lacustrine basins (Eusterhues *et al.*, 2005; Demory *et al.*, 2005). The presence of Ti reflects detritic deposition since Ti is released from Ti-bearing rocks through weathering and erosion. For Laguna Potrok Aike results are interpreted in a similar way: Ti is associated with allochthonous input resulting from runoff and hence is representative for moist hydrological conditions. There are indications that Laguna Potrok Aike was a terminal since ca. 13,000 cal. BP and during the Holocene. Therefore, runoff is assumed to influence lake level variations and, hence, for this time period Ti can be used as an indicator for lake level fluctuations.

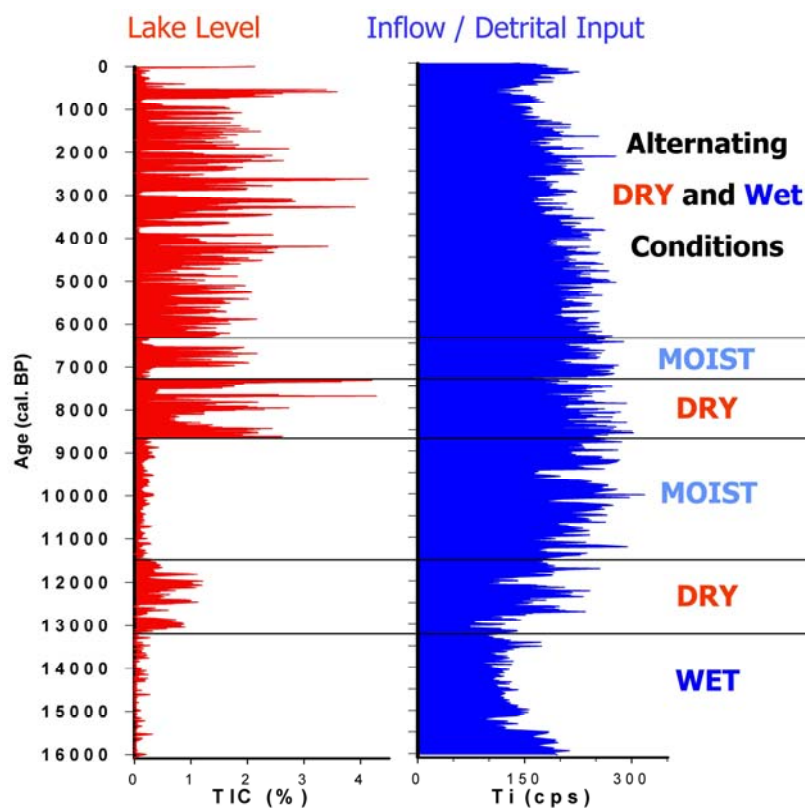


Fig. 17: Total inorganic carbon (TIC) and titanium (Ti) records for the Late-Glacial and Holocene of Laguna Potrok Aike as indicators for lake level fluctuations (TIC) and allochthonous minerogenic sediment input (Ti). Both proxies reflect wet conditions for the time prior to 13,000 cal. BP (the lake presumably had an outflow) and moist conditions for the early Holocene (11,400-8700 cal. BP: the lake had no outflow), whereas the Late-Glacial 13,200-11,400 cal. BP and the Holocene since 8700 cal. BP are characterised by marked dry/moist cycles (Haberzettl *et al.*, 2007).

Abb. 17: Gesamter anorganischer Kohlenstoff (TIC) und Titangehalte (Ti) für das Spätglazial und das Holozän der Laguna Potrok Aike als Indikatoren für Seespiegelschwankungen (TIC) und für allochthonen minerogenen Sedimenteintrag (Ti). Beide Indikatoren weisen auf feuchte Klimabedingungen für die Zeit vor 13.000 cal. BP (der See hatte wahrscheinlich einen Ausfluss) und für das frühe Holozän (11.400-8700 cal. BP: der See hatte keinen Ausfluss) hin. Dagegen werden das Spätglazial (13.200-11.400 cal. BP) und das Holozän seit 8700 cal. BP durch Trocken/Feucht-Zyklen charakterisiert (Haberzettl *et al.*, 2007).

We consider the start of the mid-Holocene period (as discussed here) as occurring at 7300 cal. BP with a distinct drop in TIC and related increases of Ti (Fig. 17), i.e. moister climatic conditions. The Ti record has a constant trend towards lower values indicating a decrease in

runoff, i.e. less humid conditions which ends at the onset of the “Little Ice Age”. For the first 1000 years two very pronounced and relatively extended moist periods occurred (7300-7000 and 6500-6300 cal. BP). The next pronounced moist period of significantly more than 100 years of duration is the “Little Ice Age” (Fig. 11, 17). Despite these two phases with extended moist conditions during the mid-Holocene and the last millennium, this part of the Holocene is dominated by considerably drier conditions with five short (<100 years duration) moist periods (Fig. 17). Whether these wet-dry cycles with a recurrence interval of 1040 years are related to internal climatic or external forcing remains a question to be answered by further research.

This climate change towards drier conditions is corroborated by the pollen record documenting an increased climatic dynamic until 2300 cal. BP. This development is as well suggested by the cyclic presence of *Thalassiosira patagonica* and *Cyclotella agassizensis*, both indicative of increased salinity and hence a lower lake level with less available moisture. After 2300 cal. BP Patagonian steppe taxa increase slightly in abundance which is interpreted as higher moisture availability. This, however, is in contradiction to the TIC record with generally high values and only several short (<100 years) periods of moist conditions until the “Medieval Climate Anomaly”. The diatom species *Cyclotella agassizensis* also supports drier conditions with a more saline lake water body. This discrepancy might be explained climatically by increased hydrological seasonality, i.e. a stronger contrast between winter and summer precipitation leading to different reactions of vegetation in the catchment area and the lake ecosystem (lake level, limnological conditions).

For the second long regional lacustrine record, Laguna Azul, a similar approach for interpretation as for Laguna Potrok Aike was applied. Starting from 8700 cal. BP moist conditions prevail for about 1300 years. This is indicated by high values for Ti and Poaceae and decreasing *Nothofagus* pollen (Fig. 18) indicating less west wind intensities, more precipitation and increased runoff. This is supported by C/N ratios below 10, implying a dominance of autochthonous algal productivity without influence of littoral organic matter and a decrease of the saline diatom species *Thalassiosira patagonica*. However, contrary to the C/N ratios steadily increasing  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$  values may indicate either input of macrophyte organic matter or they have to be seen as indicative for a steady increase of lacustrine primary production

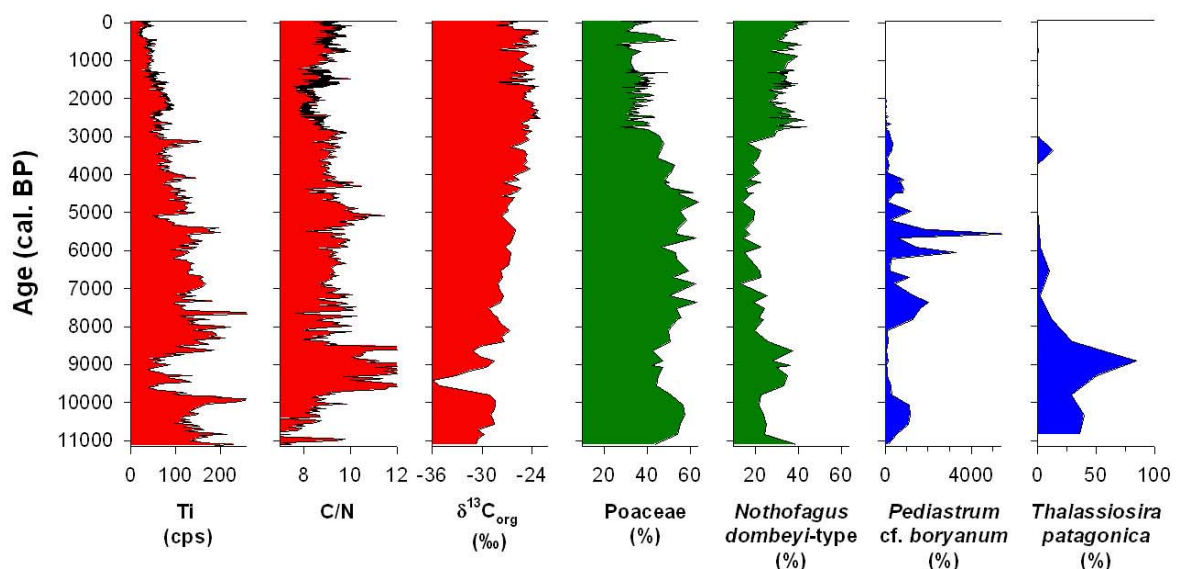


Fig. 18: Sedimentological parameters (red) titanium (Ti), C/N ratio and carbon isotopes of bulk organic matter ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ ), selected pollen (green) and algal taxa (blue) vs. time for the record from Laguna Azul.

Abb. 18: Sedimentologische Parameter (in rot) Titan (Ti), C/N-Verhältnis und Kohlenstoffisotope, gemessen an der gesamten organischen Substanz ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ ), ausgewählte Pollentypen (in grün) und Algenarten (in blau) gegen die Zeit für den Kolbenlotkern aus der Laguna Azul.

These conditions more or less continue until 2800 cal. BP. Ti shows a decreasing trend, probably related to dilution by a constantly increasing organic production of the lake. Eutrophication is indicated for this period by *Pediastrum*. However, all the high-resolution data (Ti, C/N) document cyclicities that might be interpreted like for Laguna Potrok Aike as a result of wet-dry cycles (Fig. 18). At 2800 cal. BP an increase of Patagonian Forest Taxa indicates intensified west winds with less moisture available until the onset of the “Little Ice Age”. Ti is another proxy reflecting less runoff and *Pediastrum* documents less trophic conditions. The comparison between Laguna Azul and Laguna Potrok Aike generally hampers because both lake systems are diametrically opposed organic and minerogenic depositional systems with assumingly different responses to climatic forcing. Therefore, it needs to be further explored, whether the presented climatic interpretation can be confirmed by other parameters.

The record from Laguna Potrok Aike demonstrates that the SHW strength varied on centennial to multi-centennial time scales. Comparable quasi-millennial periodicities of climate proxies are well-known from Antarctic ice cores (Masson et al., 2000; Delmonte et al., 2005) suggesting changes in southern hemispheric atmospheric circulation as a fundamental control mechanism. Compared to other proxy records in the South American realm from continental (e.g. Jenny et al., 2003; Gilli et al., 2005b) and marine (Lamy et al., 2001) sites, our record shows an earlier onset of intensified SHW in the Holocene. Data further suggest that SHW were much more variable during the Holocene than previously inferred from other records.

- Fey, M., in Vorb.: *Paläoökologische Studien an Seesedimenten aus dem südlichen Patagonien, Argentinien. Dissertation, Institut für Geographie, Universität Bremen.*
- Fey, M., Janssen, S., Maidana, N.I., Mayr, C., Wulf, S., Corbella, H., Haberzettl, T., Lücke, A., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B.: *Crater lake sediments from Laguna Azul (Argentina) - a high-resolution multi-proxy record of palaeoenvironmental changes in southern Patagonia for the Late Holocene: in prep.*
- Haberzettl, T., 2006. *Late Quaternary hydrological variability in southeastern Patagonia – 45,000 years of terrestrial evidence from Laguna Potrok Aike. Dissertation, Institut für Geographie, Universität Bremen, 142 S.*
- Haberzettl, T., Corbella, H., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, A., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M., Wulf, S., Zolitschka, B.: *Wet-dry cycles in southern Patagonia - Chronology, sedimentology and geochemistry of a lacustrine sediment record from Laguna Potrok Aike (Argentina). The Holocene: in press.*
- Janssen, S. in Vorb.: *Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Klimageschichte des südlichen Südamerikas mittels jungquartärer Sedimente aus dem Kratersee der Laguna Azul (Südpatagonien) und dem Moor der Isla Navarino (Feuerland). Dissertation, Seminar für Geographie und ihre Didaktik, Universität zu Köln.*
- Maidana, N. I., I. Izaguirre, A. Vinocur, G. Mataloni & H. Pizarro. 2005. *Diatomeas en una transecta patagónico-antártica. Ecología Austral 1: 159-176.*
- Wille, M., Maidana, N.I., Schäbitz, F., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schleser, G.H. & Zolitschka, B.: *Vegetation and climate dynamics in southern South America: the microfossil record of Laguna Potrok Aike, Santa Cruz, Argentina.- Review of Palaeobotany and Palynology: in revision.*

## 1.9 Early to mid-Holocene dry event

First discovered by a 3.5 kHz seismic survey an erosional unconformity was detected at 35 m water depth around the entire Laguna Potrok Aike (Fig. 19). The upper ~5-10 m consist of draping, slightly basinward dipping reflections that terminate laterally when the slope becomes steeper. This unit conformably overlies an erosional unconformity which persistently occurs around the entire lake truncating reflections of the underlying upper slope section. The unconformity itself also gently dips basinward and crops out into the slopes consistently in 35 m water depth (arrows in Fig. 19). Immediately, this structure was



determined as related to a period of water stress with a distinct drop of the lake level. As the 35 m lake level fall certainly did not affect the central 100 m deep basin of the lake as drastic as at the lake slopes, we obtained an additional sediment core to ascertain this hydrological extreme event (Fig. 20). All geophysical, geochemical and paleobiological parameters as well as dating document a clear hiatus. The obtained age determinations point to mid to late Holocene sediments (younger than 7300 cal. BP) underlain by much older (40-55 ka) deposits.

As expected, the sediments from the centre of the lake display no hiatus. However, they indicate drastic changes in sedimentation rates with  $0.81 \text{ mm a}^{-1}$  before 8700 cal. BP and  $0.89 \text{ mm a}^{-1}$  after 7300 cal. BP but with  $4.64 \text{ mm a}^{-1}$  for the supposed dry period in between. Additionally, the lake level indicator TIC indicates a low lake level for the same period. The lake level fell to its lowest Holocene position (8700-7300 cal. BP). Moreover, this interpretation is supported by pollen and diatom analyses (Figs. 16).

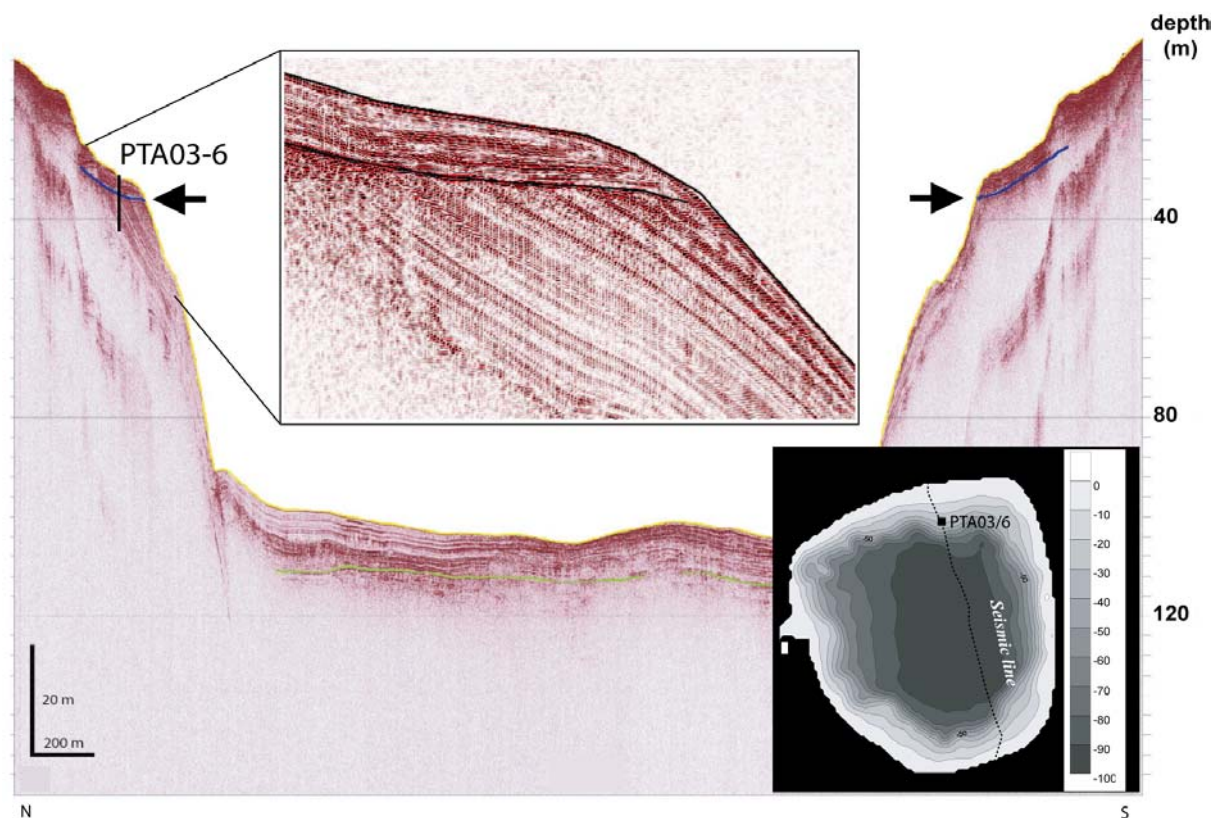


Fig. 19: 3.5 kHz seismic transect through Laguna Potrok Aike with the insert showing the lake shoulder at the northern slope area (note vertical exaggeration). Arrows mark the angular unconformity caused by subaerial erosion of underlying upper slope sediments during a lake level lowstand (Haberzettl et al., in press).

Abb. 19: Transekt mit 3.5 kHz Seismic durch die Laguna Potrok Aike. Die Vergrößerung des seismischen Profils am Nordhang des Sees verdeutlicht den internen Aufbau der Seespiegeltterasse (bitte den vertikalen Maßstab beachten). Die eingefügte bathymetrische Karte zeigt die Position des Transektes sowie des Kolbenlotkerns PTA 03/6 (vgl. Abb. 16). Die Pfeile markieren die Diskordanz, die durch Erosion im Bereich der Uferlinie entstanden ist als der Seespiegel seinen holozänen Tiefstand erreicht hatte (Haberzettl et al., in press).

High-resolution analyses of allochthonous pollen (Andean Forest Taxa – AFT, i.e. mainly *Nothofagus*) deposited in Laguna Potrok Aike reflect the variability of zonal wind intensities during the Holocene and especially during the main Holocene dry event. These indicators, interpreted as a proxy for the strength of the SHW, co-vary on centennial timescales with C/N ratios and Ti contents, interpreted as differential organic matter sources and minerogenic input to the sediment (Fig. 21). The correlations underline a linkage between hydrological variability and west wind variability in Extra-Andean Patagonia. When the SHW intensity was

strong, more arid conditions prevailed (low Ti) and more littoral organic matter was deposited (higher C/N) due to lower lake levels. A shift to generally more intense SHW suggests intensification to modern wind conditions at that latitude around 9200 cal. BP (Fig. 21). Accordingly, the period with most intense SHW was 8700-7300 cal. BP coinciding well with the lowest Holocene lake level suggested by sedimentological data. During periods with weakened SHW, air masses from easterly directions reached Laguna Potrok Aike more frequently giving rise to enhanced precipitation (high Ti) and dominance of algal organic matter (low C/N) prevailing during periods of high lake levels. Hence, the coherence of Ti and C/N variations with the AFT record allows a detailed reconstruction of SHW intensity and its impact on local ecosystems.

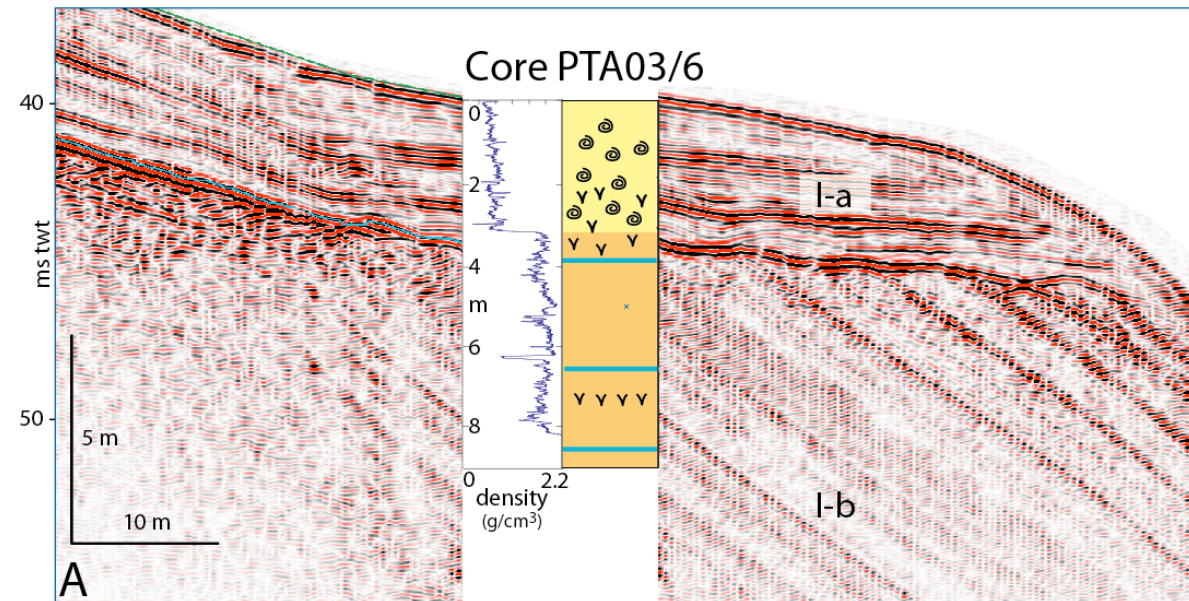


Fig. 20: Petrophysical properties (bulk density determined by a multi sensor core logger) of the long piston core from the lake shoulder and lithologic column superimposed on the seismic section at the coring site (for location cf. Fig. 19). Note the sharp downcore increase in density at  $\sim 3$  m coinciding with the major hiatus and unconformity separating low-density silty sediments above (younger than 7300 cal. BP) from coarser high-density sandy sediments below (dated ca 44,800  $^{14}\text{C}$  BP at a depth of 7.3 m).

Abb. 20: Lithologische Säule und gesteinsphysikalische Eigenschaften (Dichte bestimmt mit einem "Multisensor Corelogger") für den Kolbenlotkern von der subaquatischen Seespiegelterrasse im Vergleich mit den Daten des seismischen Profils an der Bohrkernlokalität (die Lage im See ist in Abb. 15 dargestellt). Beachtenswert ist der markante Anstieg der Dichte bei einer Tiefe von  $\sim 3$  m, der mit der Erosionsdiskordanz übereinstimmt. Durch diesen sedimentologischen Wechsel werden die weniger dichten siltigen Sedimente im Hangenden (jünger als 7300 cal. BP) von den sandigeren Ablagerungen im Liegenden getrennt. Bei 7.3 m Tiefe wurde ein Radiokohlenstoffalter von 44,800 BP bestimmt.

Assuming a regional consistency, the record from Laguna Azul should support this hypothesis about the early Holocene dry event, as the base of the record dates back to 11,000 cal. BP. Indeed, there is a period between 9700 and 8700 cal. BP for which proxy parameters provide evidences for a lower lake level as well: Ti indicates less runoff into the lake, the C/N ratio and  $\delta^{13}\text{C}$  document increased influence of littoral organic matter. Moreover, Poaceae are low while *Nothofagus* pollen is increased pointing to intensified SHW with less precipitation as a consequence. Finally, the diatom species *Thalassiosira patagonica* indicating a more saline water body has its absolute maximum at 9000 cal. BP (Fig. 16). Thus we argue that this event is an expression of an early Holocene southern Patagonian drought period. A comparable hydrological extreme was also recognized for Lago Cardiel, although the timing is either slightly shifted or there are differences in intensity of the same event (cf. chapter 10.1).



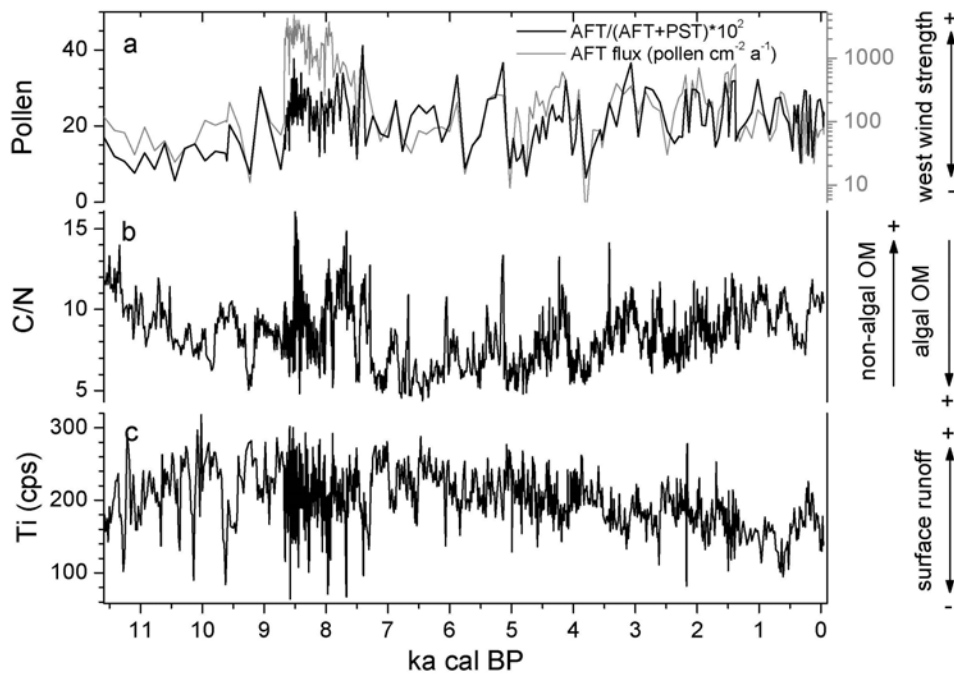


Fig. 21: Andean forest taxa (AFT), displayed as pollen variations of AFT flux (logarithmic scale) and AFT index (a), are compared to C/N ratios (b) and Ti contents (c). Interpretation of proxies to the right; OM: organic matter (Mayr et al., 2007).

Abb. 21: Andine Waldarten (AFT), dargestellt als Pollenvariationen in Form von AFT-Fluxraten (logarithmischer Maßstab) und AFT-Index (a), im Vergleich mit dem C/N-Verhältnis (b) und den Titan-Gehalten (Ti: c). Eine Interpretation dieser Proxies ist rechts angegeben; OM: organische Substanz (Mayr et al., 2007).

Anselmetti, F., D. Ariztegui, C. Ohlendorf, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, and B. Zolitschka: Seismic stratigraphy and paleoenvironmental implications of a sediment fill from a Southern Patagonian crater lake (Laguna Potrok Aike, Argentina). *Sedimentology*: in prep.

Haberzettl, T., 2006. Late Quaternary hydrological variability in southeastern Patagonia – 45,000 years of terrestrial evidence from Laguna Potrok Aike. *Dissertation, Institut für Geographie, Universität Bremen*, 142 S.

Haberzettl, T., Kück, B., Wulf, S., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Corbella, H., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & Zolitschka, B.: Hydrological variability and explosive volcanic activity in southeastern Patagonia during Oxygen Isotope Stage 3 and the Holocene inferred from lake sediments of Laguna Potrok Aike, Argentina.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*: in press.

Haberzettl, T., Corbella, H., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, A., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M., Wulf, S., Zolitschka, B.: Wet-dry cycles in southern Patagonia - Chronology, sedimentology and geochemistry of a lacustrine sediment record from Laguna Potrok Aike (Argentina). *The Holocene*: in press.

Janssen, S. in Vorb.: Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Klimageschichte des südlichen Südamerikas mittels jungquartärer Sedimente aus dem Kratersee der Laguna Azul (Südpatagonien) und dem Moor der Isla Navarino (Feuerland). *Dissertation, Seminar für Geographie und ihre Didaktik, Universität zu Köln*.

Kück, B., 2005. Sedimentologische Studie zur Erfassung hydrologischer Variationen anhand von Ablagerungen aus dem Kratersee Laguna Potrok Aike (Südpatagonien, Argentinien). *Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Bremen*, 92 S.

Mayr, C., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Maidana, N.I., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G., Struck, U., Wille, M. & Zolitschka, B. (2005): Palaeoenvironmental changes in southern Patagonia during the last millennium recorded in lake sediments from Laguna Azul.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 228: 203-227.

- Mayr, C., Wille, M., Haberzettl, T., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Ohlendorf, C., Oliva, G., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & Zolitschka, B. (2007): Holocene variability of the Southern Hemisphere westerlies in Argentinean Patagonia (52°S).- *Quaternary Science Reviews* 26: 579-584.
- Wille, M., Maidana, N.I., Schäbitz, F., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schleser, G.H. & Zolitschka, B.: *Vegetation and climate dynamics in southern South America: the microfossil record of Laguna Potrok Aike, Santa Cruz, Argentina.- Review of Palaeobotany and Palynology: in revision.*

### 1.10 Humid conditions from MIS 2 until the early Holocene

The oldest section of the record from Laguna Potrok Aike suggests rather moist conditions during the ending Marine Isotope Stage (MIS) 2, the Late-Glacial and the early Holocene (16,000-8700 cal. BP). It is interrupted by a period from 13,200 to 11,400 cal. BP for which the TIC record indicates drier and warmer conditions. This interpretation is based on the fact that increased TIC is indicative of less available moisture. Between 13,200 and 12,800 cal. BP biochemical calcite precipitation occurred. However, from 12,800 to 11,400 cal. BP *Phacotus lenticularis* makes up the entire carbonate fraction. *Phacotus* only occurs at summer temperatures higher than 15.8°C (Schlegel et al., 1998). This latter period is approximately contemporaneous to the Younger Dryas chronozone in the Northern Hemisphere (12,700-11,500 cal. BP). A warmer period synchronous with the northern hemispheric Younger Dryas has already been postulated for other records of the Southern Hemisphere, e.g. for marine sediments (Lamy et al., 2004) or Antarctic ice cores (Blunier & Brook, 2001).

Productivity indicators of Laguna Potrok Aike further substantiate the picture of generally moister conditions for the time period 16,000-8700 cal. BP compared to the remaining part of the Holocene. High HI values, high concentrations of algal palynomorphs together with enriched  $\delta^{13}\text{C}$  values point towards the highest phytoplankton productivity on record for Laguna Potrok Aike during the Late Glacial and early Holocene (Fig. 22). Furthermore, also aquatic macrophytes should have had improved ecological conditions as can be concluded from increased TOC/TN ratios and most frequent plant debris indicating a considerable contribution of macrophyte organic matter to the sediments (Fig. 22). Taken together we have evidences for an increased lake level and calm water conditions with reduced mixing. This led to an extension of the habitat for aquatic macrophytes and to improved conditions for phytoplankton growth. Even periods with longer periods of stratification during summer months, absent today, may have occurred. We interpret this as a generally reduced intensity of the southern hemisphere westerlies from 16,000-8700 cal. BP. Comparable to the TIC record this situation changes during a local productivity minimum around 13,200 to 11,400 cal. BP that might consequently be seen as a period of intensified evaporation and/or higher wind speeds.

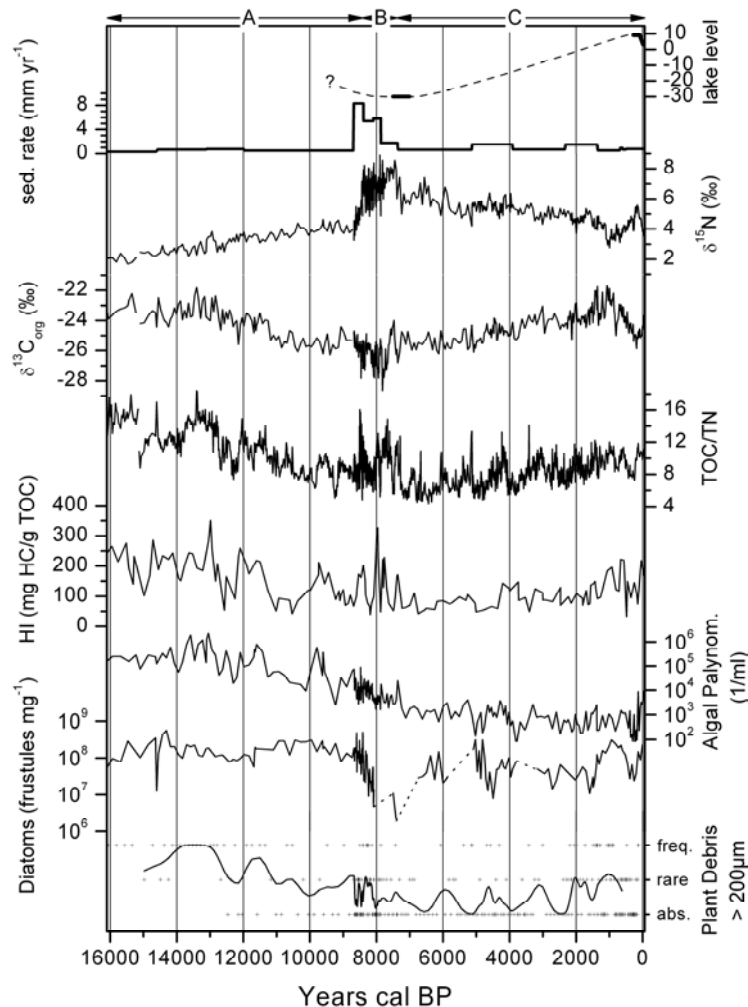


Fig. 22: Lake level variations, sedimentation rate,  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ , TOC/TN, HI values, algal palynomorphen, diatom frequency and plant debris vs. age of the sediment record from the centre of Laguna Potrok Aike (compiled from cores PTA02/4, PTA03/12, PTA03/13). Estimations of vascular plant debris are from visual inspections with categories “absent (abs.)”, “rare” and “frequent (freq.)” represented by crosses (original data) and a spline curve (calculated from 8cm equidistant samples, 20pt. Gaussian low pass filter) (Mayr et. al., subm.)

Abb. 22: Seespiegelvariationen, Sedimentationraten sowie  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ , TOC/TN, HI Werte, Algenpalynomorphen, Diatomeenhäufigkeit sowie Pflanzenbruchstücke der Laguna Potrok Aike (zusammengestellt aus den Kernen PTA02/4, PTA03/12 und PTA03/13). Abschätzungen von Bruchstücken höherer Pflanzen über visuelle Betrachtungen mit den Einstufungen “fehlend (abs.)”, “selten (rare)” und “häufig (freq.)” sind dargestellt als Symbole (Kreuze) sowie interpoliert über eine Splinefunktion (8 cm Proben, 20pt. Gaussfilter) (Mayr et. al, subm.).

Pollen data (Fig. 16) document that the Late-Glacial was mainly cold and/or wind speed was low. Both factors combined make an increased amount of available moisture likely. The abundance of pollen of the aquatic taxon *Myriophyllum* shows that wind speed must have been low in Late-Glacial times. *Myriophyllum* is wind pollinated and flowers above the water surface. Nowadays, the plant occurs in high quantities in the lake, however, it is not able to flourish because waves induced by the permanent strong winds inhibit the plants to grow close to the lake surface. Moreover, abundance of the fresh water diatom taxon *Cyclotella patagonica* (Guerrero & Echenique 2002) in combination with the chlorophyte *Pediastrum kawraiskyi* indicates that the water of Laguna Potrok Aike must have been cold, clear and fresh (Komárek & Jankovská 2001). The Ti record, however, provides a different picture (Fig. 17). Our present explanation for the low Ti contents (apparently related

to low minerogenic input) prior to 13,200 cal. BP is an extremely high lake level that passed a certain threshold resulting in the formation of an outflow which would be located approximately 25 m above the present-day lake surface. Geomorphologic evidence supports this interpretation. As this outflow was close to the present inflow, most of the minerogenic input which normally would have been deposited in the lake has bypassed the lake. This explains why TIC displays lowest values of the entire record while Ti is low at the same time and both proxy parameters indicate a maximum lake level. During the final stage of the Late-Glacial (after 13,200 cal. BP) this overflow situation presumably terminated and all minerogenic influx ended up in the sediments of Laguna Potrok Aike like during the entire course of the Holocene when climatic conditions never again approached such a high availability of moisture.

At Lago Cardiel, 500 km north of our research area, Gilli (2003) found that the lake level was high prior to 13,160 cal. BP. At the same time the Punta Arenas area south of Laguna Potrok Aike was under the influence of humid conditions between about 16,910 and 14,410 cal. BP (McCulloch & Davies, 2001; McCulloch et al., 2005). Thus, there are increasing evidences that the Late-Glacial was moist in the southern Patagonian steppe. This consistent water availability has been explained by a northward shift of SHW during MIS 2 and most of the Late-Glacial allowing easterly winds to bring cold air and rain from the Atlantic (i.e. circum-Antarctic sources) to southern Patagonia (Markgraf et al., 2003). This changed again between 13,160 and 12,500 cal. BP when the lowest lake level was recorded for Lago Cardiel (Gilli, 2003). The drop of the lake level is consistent with the onset of drier and warmer conditions at Laguna Potrok Aike. Comparing this succession of lake levels at Lago Cardiel with the situation at Laguna Potrok Aike, we determined a similar picture documented by a Ti maximum and a corresponding TIC minimum (12,400-12,100 cal. BP) within the period 13,200 to 11,400 cal. BP. Given the uncertainties in radiometric dating especially for the time interval of the Late-Glacial, we interpret our results as in agreement with the record from Lago Cardiel.

Also the continuation of moist conditions into the early Holocene at Laguna Potrok Aike is well represented by the record from Lago Cardiel (Gilli, 2003; Stine & Stine, 1990). Starting at 9700 cal. BP, Holocene low lake level conditions established at Lago Cardiel (Gilli, 2003). At Laguna Potrok Aike a short (~200 years) but distinct drop in Ti (Fig. 17) indicates a period of less moisture availability. However, the threshold for carbonate precipitation was not passed at this stage. Thus, a related peak in TIC is missing. A drastic increase in TIC happened at 8700 cal. BP when the Lago Cardiel record provides slight evidences of a second step in lake level lowering. The comparison of data from Laguna Potrok Aike with those of Lago Cardiel provides evidences for the presence of a regional signal indicating a latitudinal shift of the SHW.

The record from Laguna Azul also documents moist early Holocene conditions (Fig. 18). Like for Laguna Potrok Aike, lower percentages of *Nothofagus* indicate less strengths of SHW thus enabling more moisture to be advected from the Atlantic Ocean. Increased Ti values support this interpretation. As the formation of this crater lake probably dates back to the Late-Glacial, no data older than 11,000 cal. BP can be obtained from there.

Fey, M., Janssen, S., Maidana, N.I., Mayr, C., Wulf, S., Corbella, H., Haberzettl, T., Lücke, A., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B.: Crater lake sediments from Laguna Azul (Argentina) - a high-resolution multi-proxy record of palaeoenvironmental changes in southern Patagonia for the Late Holocene: in prep..

Fey, M., in Vorb.: Paläoökologische Studien an Seesedimenten aus dem südlichen Patagonien, Argentinien. Dissertation, Institut für Geographie, Universität Bremen.

Haberzettl, T., 2006. Late Quaternary hydrological variability in southeastern Patagonia – 45,000 years of terrestrial evidence from Laguna Potrok Aike. Dissertation, Institut für Geographie, Universität Bremen, 142 S.

Haberzettl, T., Corbella, H., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, A., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M., Wulf, S., Zolitschka, B.: Wet-dry cycles in southern Patagonia - Chronology, sedimentology and geochemistry of a lacustrine sediment record from Laguna Potrok Aike (Argentina). *The Holocene*: in press.

- Janssen, S. in Vorb.: *Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Klimageschichte des südlichen Südamerikas mittels jungquartärer Sedimente aus dem Kratersee der Laguna Azul (Südpatagonien) und dem Moor der Isla Navarino (Feuerland)*. Dissertation, Seminar für Geographie und ihre Didaktik, Universität zu Köln.
- Mayr, C., Lücke, A., Corbella, H., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Maidana, N.I., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & Zolitschka, B. (submitted): *Isotopic and geochemical variability of sedimentary organic matter from Laguna Potrok Aike reflect hydrological changes in semi-arid Patagonia during the last 16,000 years.*- *Chemical Geology*.
- Wille, M., Maidana, N.I., Schäbitz, F., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schleser, G.H. & Zolitschka, B.: *Vegetation and climate dynamics in southern South America: the microfossil record of Laguna Potrok Aike, Santa Cruz, Argentina.*- *Review of Palaeobotany and Palynology: in revision*.

### 1.11 Causes for climate variations in Southern Patagonia

In the framework of the DEKLIM project MIDHOL the hydrological regime at Laguna Potrok Aike has been analyzed in terms of precipitation and its links to large-scale atmospheric circulation. Transient simulations were done in which a combination of orbital, solar and greenhouse gas forcing were used to drive the global coupled atmosphere-ocean model ECHO-G for the mid-Holocene (7000-4500 cal. BP). Results were compared to a quasi-equilibrium pre-industrial control simulation with constant conditions of AD 1750.

The coarse horizontal resolution (approx. 300 x 300 km) of the GCM is of special concern for the complex topographic terrain of southern Patagonia. Thus the climate model output related to hydrological variables (precipitation, evaporation) could not directly be used for comparison with local conditions derived from sediment proxy data, i.e. lake level variations. For the mid-Holocene lake levels were reconstructed that have been lower compared to pre-industrial times at AD 1750.

To overcome the scale-mismatch between the large scales of the climate model and the local scale of the proxy data, a downscaling approach was applied to link the large-scale atmospheric circulation (LSC) with local precipitation. This approach includes two steps: first, a statistical downscaling model was calibrated and validated with observational meteorological data. Here statistical transfer functions have been setup between large-scale sea level pressure over southern South America and precipitation at Laguna Potrok Aike for the second half of the 20<sup>th</sup> century. In a second step these transfer functions have been applied to the simulated LSC of the ECHO-G model.

An advantage of the statistical downscaling model is the analysis of the driving mechanisms between LSC and precipitation. Specifically for the situation at Laguna Potrok Aike it was realised that increased westerly winds are associated with reduced precipitation and vice versa. However, as also shown by the downscaling model, this link is only moderate, because only 25% of the variability of precipitation at Laguna Potrok Aike can be explained by changes of LSC on a monthly basis.

The large-scale information of the climate model related to SHW was directly used for comparison with the large-scale hypothesis formulated on information derived from proxy data for the mid-Holocene. These hypotheses are related i) to a year-round northward position (Markgraf, 1993; Markgraf et al. 2003) of SHW and ii) to an increased seasonality (Schäbitz, 1999; Mancini et al., 2005) of SHW.

Results of the estimated precipitation based on the downscaling of the simulated LSC are given for southern summer (Dec.–Feb.: Fig. 23 upper panel) and winter (June–Aug.: Fig. 23 lower panel) for the period 7000–4500 cal. BP. In the right panel vertical cross-sections of differences of zonal winds along 70°W between 6000 cal. BP and pre-industrial times (AD 1750) are given for the same seasons.

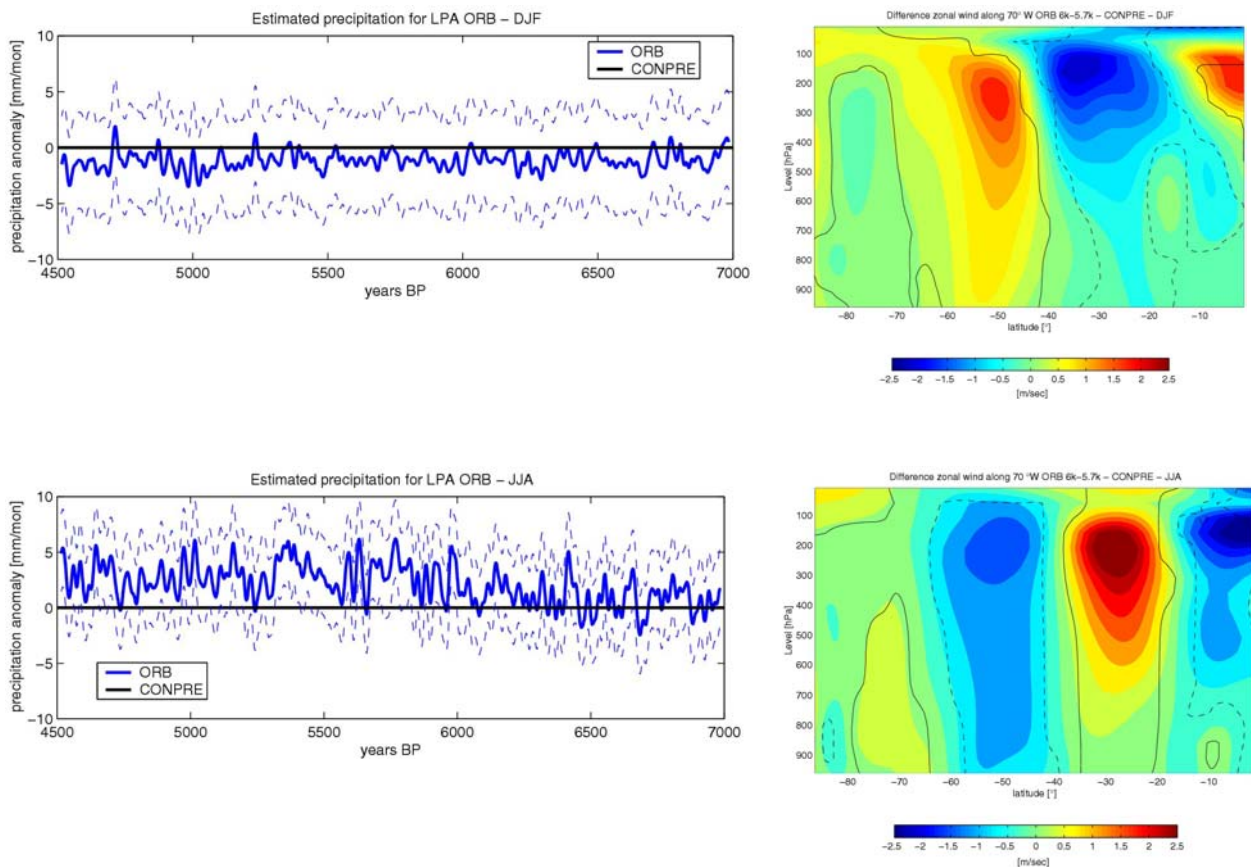


Fig. 23: Time series of estimated precipitation for the orbital-forced simulation (ORB) based on simulated large scale circulation during the mid-Holocene at Laguna Potrok Aike for December-February (DJF, left upper panel) and June-August (JJA, left lower panel). Dashed lines are the 95% confidence intervals related to the uncertainties of downscaling models. Note reduced precipitation during DJF and increased precipitation during JJA compared to pre-industrial times (CONPRE). On the right hand side differences in vertical cross-sections of zonal winds along 70°W between the situation at 6000 cal. BP and pre-industrial times for DJF (upper panel) and JJA (lower panel) are displayed. Note increased zonal winds over southern South America during DJF as opposed to reduced winds during JJA (Wagner et al., 2007).

Abb. 23: Zeitreihen des mittels statistischer Downscaling-Modelle aus den Modellsimulationen abgeschätzten Niederschlags an der Laguna Potrok Aike, bestimmt mit der orbital angetriebenen Simulation (ORB) für das mittlere Holozän. Dargestellt sind jeweils die Niederschlagswerte für Dezember-Februar (DJF, obere linke Darstellung) und Juni-August (JJA, untere linke Darstellung). Gestrichelte Linien geben das 95%-Vertrauensintervall, bezogen auf die Unsicherheiten des Downscaling-Modells an. Zu beachten sind der reduzierte Niederschlag während DJF und der erhöhte Niederschlag während JJA im Vergleich zu vorindustriellen Bedingungen (CONPRE). Die Darstellungen auf der rechten Seite zeigen die Unterschiede in den zonalen Windgeschwindigkeiten entlang eines Vertikalprofils bei 70°W zwischen der Situation um 6000 cal. BP und den vorindustriellen Bedingungen für DJF (oben) und JJA (unten). Zu beachten sind die erhöhten zonalen Windgeschwindigkeiten über dem südlichen Südamerika während DJF und die erhöhten Windgeschwindigkeiten während JJA im Vergleich zu vorindustriellen Bedingungen Wagner et al., 2007).

During DJF slightly reduced precipitation is evident compared to pre-industrial times, whereas during JJA increased precipitation is observed. The annual precipitation difference (Wagner et al., in press) shows slightly increased precipitation and thus seems to be inconsistent with reconstructed lower lake levels at Laguna Potrok Aike. However, since precipitation cannot explain the full range of lake level changes, evaporation needs to be

taken into account to compare modeling (downscaling) results and proxy reconstructions on a consistent basis.

An explanation for precipitation changes during the mid-Holocene are changes of zonal winds. Increased westerly winds at Laguna Potrok Aike are associated with reduced precipitation and vice versa. Here climate simulations indicate reduced westerly (zonal) winds during JJA and increased westerly winds during DJF over southern South America. The situation is different further to the north, where winds are increased during JJA and reduced during DJF. Therefore, simulations support the large-scale proxy hypothesis related to an increased seasonality of SHW during the mid-Holocene.

*Haberzettl, T., Corbella, H., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, A., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M., Wulf, S., Zolitschka, B.: Wet-dry cycles in southern Patagonia - Chronology, sedimentology and geochemistry of a lacustrine sediment record from Laguna Potrok Aike (Argentina). The Holocene: in press.*

*Mayr, C., Wille, M., Haberzettl, T., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Ohlendorf, C., Oliva, G., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & Zolitschka, B.: Holocene variability of the Southern Hemisphere westerlies in Argentinean Patagonia (52°S).- Quaternary Science Reviews: in press.*

*Wagner, S., Widmann, M., Jones, J., Haberzettl, T., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F. & Zolitschka, B.: Transient simulations, empirical reconstructions and forcing mechanisms for the Mid-Holocene hydrological climate in Southern Patagonia. Climate Dynamics (in press).*

## 1.12 Quantitative climate reconstructions

We applied the pollen transfer function to the pollen data from Laguna Potrok Aike (Fig. 24) to obtain a quantitative reconstruction of precipitation and temperature. For the Holocene, results demonstrate that cool and humid climate conditions (e.g. for the Little Ice Age) are predominantly correlated with low TIC values indicating high lake levels. This is also in accordance with low amounts of long distance pollen transport (i.e. *Nothofagus dombeyi*-type) indicating a decrease in west wind intensity and thus advection of precipitation with easterly winds from the Atlantic Ocean. Reconstructed precipitation also reflects the wet-dry cycles documented in sedimentary parameters since 7300 cal. BP. The early to mid-Holocene dry event is represented by distinct shifts in reconstructed precipitation as well as in reconstructed temperature. Maximum (smoothed) TIC values occur around 8000 cal. BP indicating lowest lake levels. For the same time reconstructed mean annual temperature increases by 0.2° while the reconstructed annual precipitation sum decreases by 70 mm, i.e. ca. 40% of the annual precipitation sum.

It cannot be expected that pollen-based reconstructions agree completely with other proxy parameters. Existing discrepancies are caused by statistical reasons or they are due to ecological parameters not included in the models (i.e. humidity of soils, wind strength, annual distribution of rain fall) but influence the available moisture for plants considerably. However, reconstructed data coincide with instrumental measurements of modern regional rainfall and their relation to wind directions. Increased precipitation values occur during periods of weaker SHW, when air masses from the south-eastern Atlantic sector enter the continent. Moreover, it is remarkable that the seasonality (calculated as difference between summer and winter precipitation) during the period selected for the MIDHOL project (4500-7000 cal. BP) is low at the beginning and increases towards 4500 cal. BP. The same result was obtained independently by the climate modelling approach.



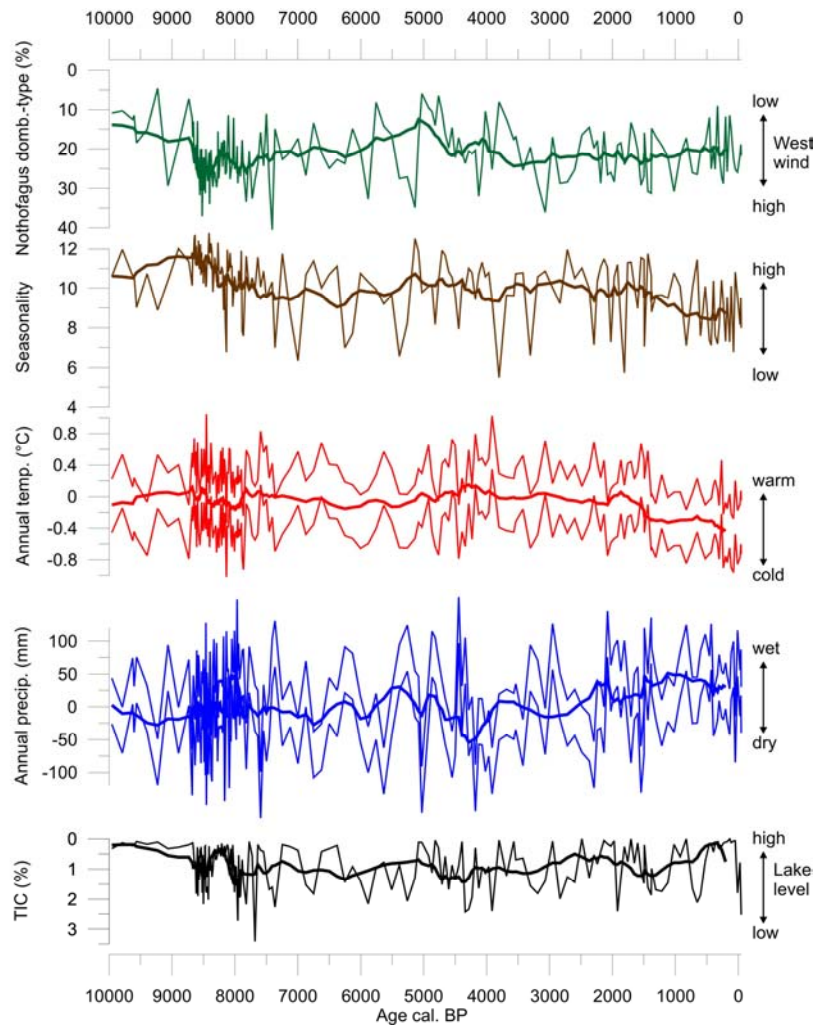


Fig. 24: Calculation of annual paleoprecipitation and paleotemperature ranges including mean mistake values for the Holocene based on multiple regression of pollen and climate data for Laguna Potrok Aike plotted as deviation from the mean. Seasonality is calculated by subtracting winter from summer precipitation. Additionally shown are the total inorganic carbon contents (TIC) and *Nothofagus dombeyi*-type pollen values. Thick lines: 10-point moving averages (Schäbitz et al., in prep.).

Abb. 24: Berechnete jährliche Paläoniederschläge und Paläotemperaturen unter Berücksichtigung der mittleren Fehlerwerte für das Holozän, basierend auf multipler Regression von Pollen- und Klimadaten für die Laguna Potrok Aike, dargestellt als Abweichungen von den Mittelwerten. Saisonalität wurde berechnet als Differenz zwischen Sommer- und Winterniederschlag. Zusätzlich sind der gesamte anorganische Kohlenstoff (TIC) und *Nothofagus dombeyi*-Typ Pollenwerte dargestellt. Dicke Linien: 10-Punkt gleitender Mittelwert (Schäbitz et al., in prep.).

In general, one method is not sufficient to reconstruct climatic parameters and to understand the entire complexity of the climatic system and its ecological responses on a lacustrine system. Therefore, we are also working on a stable isotope approach using diverse oxygen bearing substances (endogenic carbonates, gastropode shells, cellulose) towards a quantitative reconstruction of lake level fluctuations through the determination of the  $\delta^{18}\text{O}$  composition in coexisting materials. Extremes of the  $\delta^{18}\text{O}$  record of authigenic carbonates from Laguna Potrok Aike match with dated Holocene lake level maxima/minima and are therefore a measure of lake level fluctuations (Fig 25). However, as we have to expect a nonlinear signal transfer the oxygen isotope composition of authigenic carbonates on its own has to be regarded as relative indicator. As far as available, data gained from gastropod shells gave supporting evidence for a lake level low stand at around 8500 years BP, while data from cellulose extracted from plant remains are too scarce to further evaluate on lake level variations. A separation between source value effects of precipitation and evaporative

effects on the lacustrine host waters and, thus, on the oxygen isotope composition of the carbonates may be gained by quantifying evaporation in  $\delta^{18}\text{O}$  vs.  $\delta^2\text{H}$  space. Further exploitation of cellulose from Holocene Laguna Azul sediments could enable such an approach in the near future and might open the possibility to further quantify lake level fluctuations in southern Patagonia (Fig. 14). Even though, similarities in the long-term trends of pollen based reconstructions and the isotope time series are already promising in congruently describing and improved ratio of evaporation over precipitation in semi-arid Patagonia in the course of the Holocene (Fig. 24, 25).

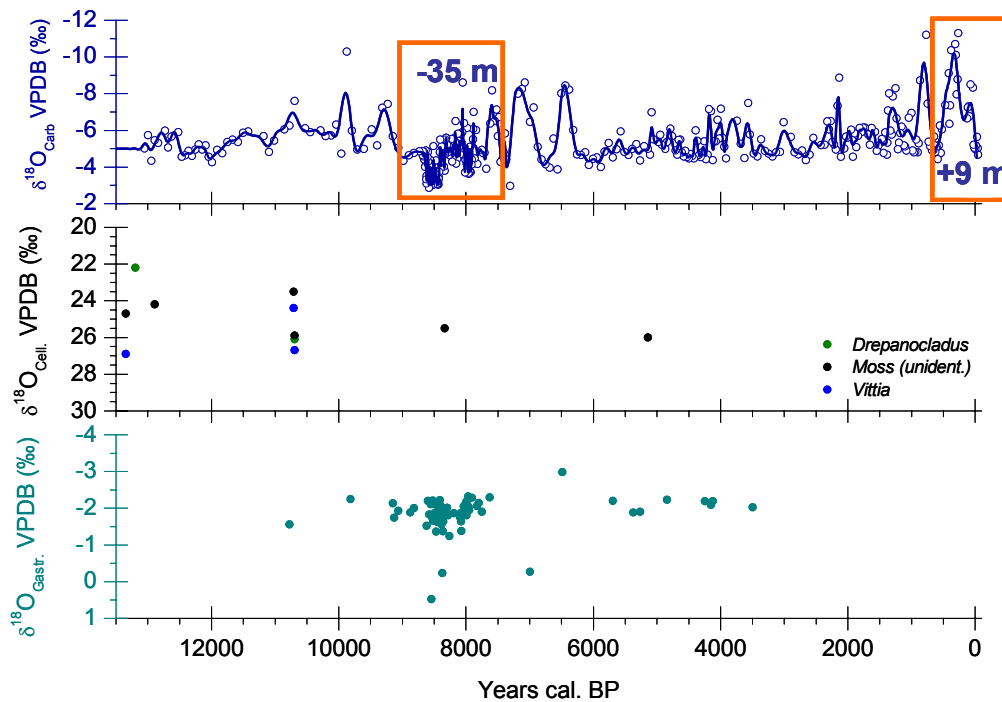


Fig. 25:  $\delta^{18}\text{O}$  values of authigenic carbonates, of cellulose from plant remains and of gastropod shells from Laguna Potrok Aike. Dated lake level extremes of the Holocene are shown in orange rectangles together with lake level changes relative to the present in meters. Mark that y-scales are inverse to match relative lake level fluctuations (Mayr et al., in prep.).

Abb. 25:  $\delta^{18}\text{O}$  Werte authigener Karbonate, von Zellulose aus Pflanzenresten und von Gastropodenschalen aus der Laguna Potrok Aike. Datierete Seespiegelextreme im Holozän sind durch orange Rechtecke markiert, Zahlen geben die Veränderungen im Seespiegel relativ zu heute in Metern wieder. Skalen der Y-achsen sind invers dargestellt um die relativen Seespiegeländerungen zu verdeutlichen (Mayr et al., in prep.).

Mayr, C., Wille, M., Haberzettl, T., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Ohlendorf, C., Oliva, G., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & Zolitschka, B., 2007. Holocene variability of the Southern Hemisphere westerlies in Argentinean Patagonia (52°S).- *Quaternary Science Reviews* 26: 579-584.

Mayr, C., Lücke, A., Wille, M., Haberzettl, T., Fey, M., Janssen, S., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & Zolitschka, B. (in prep.): Oxygen isotope composition of coexisting carbonaceous and organic matter of Laguna Potrok Aike as indicators of palaeohydrology. *Geochimica Cosmochimica Acta*.

Schäbitz, F., M. Wille, M. Paez, F. Quintana, S. Janssen, H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, G.-H. Schleser & B. Zolitschka (in prep.): Pollen based approach of quantitative climate reconstruction for the long core of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology*.

Wagner, S., Widmann, M., Jones, J., Haberzettl, T., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F. & Zolitschka, B.: *Transient simulations, empirical reconstructions and forcing mechanisms for the Mid-Holocene hydrological climate in Southern Patagonia. Climate Dynamics: in press.*

### 1.13 References

- Allen, J.R.M., U. Brandt, A. Brauer, H. Hubberten, B. Huntley, J. Keller, M. Kraml, J. Mingram, J.F.W. Negendank, N.R. Nowaczyk, H. Oberhänsli, W.A. Watts, S. Wulf & B. Zolitschka, 1999. Rapid environmental changes in southern Europe during the last glacial period. *Nature* 400: 740-743.
- Ariztegui, D., P. Bosch and E. Davaud. (2007). ENSO and TAD frequencies during the Little Ice Age (LIA) in Northern Patagonia. *Quaternary International*, 161: 46-55.
- Baruth, B., W. Endlicher & P. Hoppe, 1998. Climate and desertification processes in Patagonia. *Bamberger Geographische Schriften* 15: 307-320.
- Basile, I., Grousset, F.E., Revel, M., Petit, J.R., Biscaye, P.E. & Barkov, N.I., 1997. Patagonian origin of glacial dust deposited in East Antarctica (Vostok and Dome C) during glacial stages 2, 4 and 6: *Earth and Planetary Science Letters* 146: 573-589.
- Blunier, T. and Brook, E. J. 2001. Timing of Millennial-Scale Climate Change in Antarctica and Greenland During the Last Glacial Period. *Science* 291, 109-112.
- Brauer, A., Allen, J., Mingram, J., Dulski, P., Wulf, S., and Huntley, B. (2007). Evidence for last interglacial chronology and environmental change from Southern Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 450-455.
- Brutseart, W. 1982. *Evaporation into the atmosphere*, 1 ed. Kluwer Academic Publishers.
- Delmonte, B., Petit, J.R., Krinner, G., Maggi, V., Jouzel, J., Udisti, R., 2005. Ice core evidence for secular variability and 200-year dipolar oscillations in atmospheric circulation over East Antarctica during the Holocene. *Climate Dynamics* 24, 641-654.
- Demory, F., Oberhänsli, H., Nowaczyk, N. R., Gottschalk, M., Wirth, R. and Naumann, R. 2005. Detrital input and early diagenesis in sediments from Lake Baikal revealed by rock magnetism. *Global and Planetary Change* 46, 145-166.
- Diekmann, B., G. Kuhn, V. Rachold, A. Abelmann, U. Brathauer, D. K. Futterer, R. Gersonde and H. Grobe. (2000). Terrigenous sediment supply in the Scotia Sea (Southern Ocean): response to Late Quaternary ice dynamics in Patagonia and on the Antarctic Peninsula. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 162: 357-387.
- Eusterhues, K., Heinrichs, H. and Schneider, J. 2005. Geochemical response on redox fluctuations in Holocene lake sediments, Lake Steisslingen, Southern Germany. *Chemical Geology* 222, 1-22.
- Gilli, A. (2003). Tracking late Quaternary environmental change in southernmost South America using lake sediments of Lago Cardiel (49°S), Patagonia, Argentina. Unpublished Ph.D. thesis ETH Zurich.
- Gilli, A., F. Anselmetti, D. Ariztegui, J. Bradbury, K. Kelts, V. Markgraf and J. McKenzie. (2001). Tracking abrupt climate change in the Southern Hemisphere: a seismic stratigraphic study of Lago Cardiel, Argentina (49°S). *Terra Nova* 13: 443-448.
- Gilli, A., F. S. Anselmetti, D. Ariztegui, M. Beres, J. A. McKenzie and V. Markgraf. (2005a). Seismic stratigraphy, buried beach ridges and contourite drifts: the Late Quaternary history of the closed Lago Cardiel basin, Argentina (49°S). *Sedimentology* 52: 1-23.
- Gilli, A., D. Ariztegui, F. S. Anselmetti, J. A. McKenzie, V. Markgraf, I. Hajdas and R. D. McCulloch. (2005b). Mid-Holocene strengthening of the Southern Westerlies in South America -- Sedimentological evidences from Lago Cardiel, Argentina (49°S). *Global and Planetary Change* 49: 75-93.
- Glasser, N. F., Harrison, S., Winchester, V. and Aniya, M. 2004. Late Pleistocene and Holocene palaeoclimate and glacier fluctuations in Patagonia. *Global and Planetary Change* 43, 79-101.
- Guilizzoni, P. and F. Oldfield. (1996). Palaeoenvironmental analysis of Italian crater lake and Adriatic sediments. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* 55: 1-357.
- González, L. & P. Rial, eds., 2004. *Guía geográfica interactiva de Santa Cruz. Río Gallegos*, 59 pp.
- Guerrero, J.M., Echenique, R.O., 2002. *Cyclostephanos patagonicus* sp. Nov., a new freshwater diatom from Western Patagonia (Argentina). *Diatom Research* 17, 141-151.
- Haug, G., Gunther, D., Peterson, L., Sigman, D., Hughen, K. and Aeschlimann, B. 2003. Climate and the collapse of Maya civilization. *Science* 299, 1731-1735.
- Heusser, C. J. (1987). Fire history of Fuego-Patagonia. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 5, 93-109.

- Horrocks, M., P. C. Augustinus, Y. Deng, P. Shane and S. Andersson. (2005). Holocene environments recorded in a New Zealand maar crater: Lake Pupuke. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 48: 85-94.
- Huber, U. M., and Markgraf, V. (2003). European impact on fire regimes and vegetation dynamics at the steppe-forest ecotone in southern Patagonia. *The Holocene* 13, 567-579.
- Jenny, B., Wilhelm, D., Valero-Garces, B.L., 2003. The southern westerlies in Central Chile: Holocene precipitation estimates based on a water balance model for Laguna Aculeo (331500S). *Climate Dynamics* 20: 269–280.
- Jones, J. and M. Widmann. (2003). Instrument- and tree-ring-based estimates of the Antarctic oscillation. *Journal of Climate* 16: 3511-3524.
- Kaiser, J., Lamy, F., Arz, H., Hebbeln, D., 2007. Variability of sea-surface temperatures off Chile and the dynamics of the Patagonian Ice Sheet during the last glacial period based on ODP Site 1233. *Quaternary International*, 161: 77-89.
- Kilian, R., H. Biester, J. Müller, K. Eusterhues, G. Casassa and C. Schneider. 2000. Climatic and volcanic influences on the late Pleistocene and Holocene lacustrine sedimentation in the southernmost Andes (53°S). *Proceedings IX. Congreso Geológico Chileno, Actas*, 2: 35-39.
- Kilian, R., Baeza, O., Steinke, T., Arevalo, M., Rios, C., and Schneider, C. (2007). Late Pleistocene to Holocene marine transgression and thermohaline control on sediment transport in the western Magellanes fjord system of Chile (53°S). *Quaternary International* 161, 90-107.
- Knorr G., G. Lohmann, 2003. Southern Ocean origin for the resumption of Atlantic thermohaline circulation during deglaciation. *Nature* 424: 532-536
- Komárek, J., Jankovská, V., 2001. Review of the green algal genus *Pediastrum*; Implication for pollenanalytical research. *J. Cramer, Berlin, Stuttgart*, 127 pp.
- Lamy, F., D. Hebbeln, U. Röhl, G. Wefer, 2001. Holocene rainfall variability in southern Chile: a marine record of latitudinal shifts of the Southern Westerlies. *Earth and Planetary Science Letters* 185: 369-382.
- Lamy, F., Kaiser, J., Ninnemann, U., Hebbeln, D., Arz, H., and Stoner, J. (2004). Antarctic timing of surface water changes off Chile and Patagonian ice sheet response. *Science* 304, 1959-1962.
- Leemans, R. and W. Cramer (1991). The IIASA database for mean monthly values of temperature, precipitation and cloudiness of a global terrestrial grid. *International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)*. RR-91-18.
- Maidana, N. I., 1999. *Thalassiosira patagonica* sp. nov. (Thalassiosiraceae, Bacillario-phyceae), a new lacustrine centric diatom from Santa Cruz, Argentina. *Diatom Research* 14, 323-329.
- Mancini, M. V. (1998). Vegetational changes during the Holocene in Extra-Andean Patagonia, Santa Cruz Province, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 138, 207-219.
- Mancini M.V., Paez M.M., Prieto A.R., Stutz, S., Tonello, M., Vilanova, I. (2005). Mid-Holocene climatic variability reconstruction from pollen records (32°-52°S, Argentina). *Quaternary International*, 132: 47-59.
- Markgraf V (1993) Paleoenvironments and paleoclimates in Tierra-del-Fuego and southernmost Patagonia, South-America. *Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol* 102: 53–68.
- Markgraf V, Bradbury J, Schwalb A, Burns S, Stern C, Ariztegui D, Anselmetti AGF, Stine S, Maidana N (2003) Holocene palaeoclimates of southern Patagonia: limnological and environmental history of Lago Cardiel, Argentina. *Holocene* 13: 581–591
- Masson, V., Vimeux, F., Jouzel, J., Morgan, V., Delmotte, M., Ciais, P., Hammer, C., Johnsen, S., Lipenkov, V.Y., Mosley-Thompson, E., Petit, J.-R., Steig, E.J., Stievenard, M., Vaikmae, R., 2000. Holocene climate variability in Antarctica based on 11 ice-core isotopic records. *Quaternary Research* 54, 348–358.
- McCormack, F.G., Reimer, P.J., Hogg, A.G., Higham, T.F.G., Baillie, M.G.L., Palmer, J., Stuiver, M., 2002. Calibration of the radiocarbon time scale for the Southern Hemisphere: AD 1850-950. *Radiocarbon*, 44: 641-651.
- McCulloch, R. D., Davies, S. J. (2001). Late-glacial and Holocene palaeoenvironmental change in the central Strait of Magellan, southern Patagonia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 173, 143-173.
- McCulloch, R. D., Fogwill, C. J., Sugden, D. E., Bentley, M. J. and Kubik, P. W. 2005. Chronology of the Last Glaciation in Central Strait of Magellan and Bahía Inútil, Southernmost South America. *Geografiska Annaler, Series A: Physical Geography* 87, 289-312.
- Mingram, J., J. Allen, C. Bruchmann, J. Liu, X. Luo, J. Negendank, N. Nowaczyk and G. Schettler. (2004a). Maar and crater lakes of the Long Gang Volcanic Field (NE China) - overview, laminated sediments, and vegetation history of the last 900 years. *Quaternary International* 123: 135-147.

- Mingram, J., G. Schettler, N. Nowaczyk, X. Luo, H. Lu, J. Liu and J. Negendank. (2004b). The Huguang maar lake - a high-resolution record of palaeoenvironmental and palaeoclimatic changes over the last 78,000 years from South China. *Quaternary International* 122: 85-107.
- Narcisi, B., J. R. Petit, B. Delmonte, I. Basile-Doelsch and V. Maggi. (2005). Characteristics and sources of tephra layers in the EPICA-Dome C ice record (East Antarctica): Implications for past atmospheric circulation and ice core stratigraphic correlations. *Earth and Planetary Science Letters* 239: 253–265.
- Negendank, J.F.W. & B. Zolitschka, 1993. *Paleolimnology of European maar lakes*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, Lecture Notes in Earth Sciences, 49, 513 pp.
- Penman H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc Roy Soc A* 193: 120-145.
- Powers, L.A., Werne, J.P., Johnson, T.C., Hopmans, E.C., Damsté, J.S.S., and Schouten, S., 2004. Crenarchaeotal membrane lipids in lake sediments: A new paleotemperature proxy for continental paleoclimate reconstruction? *Geology*, 32, 613-616.
- Prieto, A. R., S. Stutz and S. Pastorino (1998): Vegetación del Holoceno en la Cueva Las Buitreras, Santa Cruz, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 277-290.
- Schäbitz, F. (1999): Paläoökologische Untersuchungen an geschlossenen Hohlformen in den Trockengebieten Patagoniens. *Bamberger Geogr. Schr.*, 17: 1-239.
- Schettler, G., Liu, Q., Mingram, J., Stebich, M., and Dulski, P. (2006). East-Asian monsoon variability between 15,000 and 2000 cal. yr BP recorded in varved sediments of Lake Sihailongwan (northeastern China, Long Gang volcanic field). *The Holocene* 16, 1043-1057.
- Schlegel, I., Koschel, R. and Krienitz, L. 1998. On the occurrence of *Phacotus lenticularis* (Chlorophyta) in lakes of different trophic state. *Hydrobiologia* 369-370, 353-361.
- Schouten, S., Hopmans, E., Schefuss, E., and Damsté, J. (2002). Distributional variations in marine crenarchaeotal membrane lipids: a new tool for reconstructing ancient sea water temperatures? *Earth and Planetary Science Letters* 204, 265-274.
- Shulmeister, J., I. Goodwin, J. Renwick, K. Harle, L. Armand, M. S. McGlone, E. Cook, J. Dodson, P. P. Hesse, P. Mayewski and M. Curran. (2004). The Southern Hemisphere westerlies in the Australasian sector over the last glacial cycle: a synthesis. *Quaternary International* 118-119: 25-53.
- Stine, S. (1994). Extreme and persistent drought in California and Patagonia during mediaeval time. *Nature* 369, 546-549.
- Stine, S., Stine, M. (1990). A record from Lake Cardiel of climate change in southern South America. *Nature* 345, 705-708.
- Thouveny, N., J.-L. d. Beaulieu, E. Bonifay, K. M. Creer, J. Guiot, M. Icole, M. Johnson, S. Jouzel, M. Reille, T. Williams and D. Williamson. (1994). Climate variations in Europe over the past 140 kyr deduced from rock magnetism. *Nature* 371: 503-506.
- Turney, C. S. M., A. P. Kershaw, J. J. Lowe, S. v. d. Kaars, R. Johnston, S. Rule, P. Moss, L. Radke, J. Tibby, M. S. McGlone, J. M. Wilmschurst, M. J. Vandergoes, S. J. Fitzsimons, C. Bryant, S. James, N. P. Branch, J. Cowley, R. M. Kalin, N. Ogle, G. Jacobsen and L. K. Fifield. (2006). Climatic variability in the southwest Pacific during the Last Termination (20–10 kyr BP). *Quaternary Science Reviews* 25: 886-903.
- Villalba, R., Lara, A., Boninsegna, J. A., Masiokas, M., Delgado, S., Aravena, J., Roig, F. A., Schmelter, A., Wolodarsky, A., and Ripalta, A. (2003). Large-scale temperature changes across the southern Andes: 20th-century variations in the context of the past 400 years. *Climatic Change* 59, 177-232.
- Walker, I. R. (2001). Midges: Chironomidae and related Diptera. In "Tracking environmental change using lake sediments, vol. 4: Zoological indicators." (J. P. Smol, H. J. B. Birks, and W. M. Last, Eds.), pp. 43-66. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Weischet, W. 1996. *Regionale Klimatologie. Teil 1: Die neue Welt*. - Teubner, Stuttgart, 468 pp.
- Zolitschka, B. & J.F.W. Negendank, 1996. Sedimentology, dating and paleoclimatic interpretation of a 76.3 ka record from Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary Science Reviews* 15: 101-112.
- Zolitschka, B., A. Brauer, H. Stockhausen, A. Lang & J.F.W. Negendank, 2000. An annually dated late Weichselian continental paleoclimate record from the Eifel, Germany. *Geology* 28: 783-786.
- Zolitschka, B., K.-E. Behre & J. Schneider (2003). Human and climatic impact on the environment as derived from colluvial, fluvial and lacustrine archives – Examples from the Bronze Age to the Migration period, Germany. *Quaternary Science Reviews* 22: 81-100.

## 2. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Projekt SALSA diente der Grundlagenforschung und lieferte einen Beitrag zur Quantifizierung der natürlichen Klimavariabilität sowie dem Verständnis des Systems Erde, insbesondere für die weniger untersuchte südliche Südhemisphäre. Es trug zudem dazu bei, modellierbare klimatische Parameter besser zu verstehen. Hierdurch konnte ein Beitrag zur Reduktion der Unsicherheiten in der Vorhersage zukünftiger Änderungen des Klimasystems geleistet werden. Die erhobenen Daten wurden bzw. werden der wissenschaftlichen wie der allgemeinen Öffentlichkeit durch Publikationen, Archivierung in Datenbanken (z. B. PANGAEA) und persönliche Kommunikationen zur Verfügung gestellt. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden und werden weiterhin auf nationalen und internationalen Tagungen vorgestellt und in internationalen Zeitschriften publiziert. Sie stehen für weitere Klimamodellierungen und als Grundlage für politische Diskussionen zur Verfügung. Die im Projekt entwickelten bzw. fortentwickelten Techniken wurden und werden der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur weiteren und allgemeinen Nutzung zur Verfügung gestellt. Es wurden keine Patentanmeldungen oder sonstige Schutzrechtseintragungen vorgenommen.

## 3. Wissenschaftlicher Fortschritt durch andere Arbeiten

Im Verlauf der Projektlaufzeit verdichteten sich die Hinweise auf drastische hydrologische Veränderungen im Süden Argentiniens während des Spätglazials und des frühen Holozäns. Zudem konnte eine Kopplung zwischen den Tropen und den höheren nördlichen wie südlichen Breiten über die ozeanische Zirkulation nachgewiesen werden, welche zu einem besseren Verständnis des globalen Klimasystems führen wird. Weiterhin wurde immer deutlicher, dass die aktuelle Klimaerwärmung mit daraus resultierendem vermehrtem Auftreten von Naturkatastrophen durch menschliche Aktivitäten stark beeinflusst wird. Schließlich wurden auch neue Beweise der Verwundbarkeit menschlicher Gesellschaften durch schnelle Klimaänderungen gefunden. Die Erkenntnisse von SALSA stehen in diesem Zusammenhang und haben mit zu dieser Entwicklung beigetragen.

## 4. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

### 4.1 Begutachtete Veröffentlichungen

#### 4.1.1 Begutachtete Veröffentlichungen in Vorbereitung

- Anselmetti, F., D. Ariztegui, C. Ohlendorf, M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, and B. Zolitschka: Seismic stratigraphy and paleoenvironmental implications of a sediment fill from a Southern Patagonian crater lake (Laguna Potrok Aike, Argentina). *Sedimentology*.
- Fey, M., Janssen, S., Maidana, N.I., Mayr, C., Wulf, S., Corbella, H., Haberzettl, T., Lücke, A., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B.: Crater lake sediments from Laguna Azul (Argentina) - a high-resolution multi-proxy record of palaeoenvironmental changes in southern Patagonia for the Late Holocene.
- Fey, M., Maidana, N.I., Mayr, C., Wille, M., Corbella, H., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Ohlendorf, C., Paez, M.M., Quintana, F.A., Schäbitz, F., Schleser, G.-H. & Zolitschka, B.: Palaeoenvironmental changes in southern Patagonia during the last 4.5 ka as inferred from lake sediments of Laguna Cháltel (Argentina).
- Fey, M., Korr, C., Maidana, N.I., Quintana, F.A., Dietrich, S., Corbella, H., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Paez, M.M., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B.: Palaeoclimate changes during the last 1600 years inferred from the sediment

- record of a cirque lake in southern Patagonia (Laguna las Vizcachas, Argentina).- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.
- Ohlendorf, C., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, G. Oliva, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille and B. Zolitschka: A comparison of hydrological balance calculations with instrumental lake level data for Laguna Potrok Aike (Argentina). *Climatic Change*.
- Piovano, E., Abbott, M., Ariztegui, D., Boës, X., Chapron, E., García, F., Grosjean, M., Haberzettl, T., Mayr, C., Pessenda, L., Saia, S., Sylvestre, F., Urrutia, R., Villa-Martinez, R., Villarosa, G.: Climate Reconstructions from Lake Sediments in South America. - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.
- Schäbitz, F., M. Wille, M. Paez, F. Quintana, S. Janssen, H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, G.-H. Schleser & B. Zolitschka (in prep.): Pollen based approach of quantitative climate reconstruction for the long core of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia, Argentina. *Review of Palaeobotany and Palynology*.

#### 4.1.2 Begutachtete Veröffentlichungen im Begutachtungsverfahren

- Mayr, C., Lücke, A., Corbella, H., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Maidana, N.I., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & Zolitschka, B. (in Vorbereitung): Isotopic and geochemical variability of sedimentary organic matter from Laguna Potrok Aike reflect hydrological changes in semi-arid Patagonia during the last 16,000 years.- *Chemical Geology*.
- Messyas, B., Maidana, N., Mayr, C., Lücke, A.: Summer phytoplankton and hydrochemistry of the crater lake Laguna Azul (Santa Cruz, Argentina).- *Oceanological and Hydrobiological Studies*.
- Wille, M., Maidana, N.I., Schäbitz, F., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schleser, G.H. & Zolitschka, B.: Vegetation and climate dynamics in southern South America: the microfossil record of Laguna Potrok Aike, Santa Cruz, Argentina.- *Review of Palaeobotany and Palynology*.

#### 4.1.3 Begutachtete Veröffentlichungen im Druck

- Haberzettl, T., Kück, B., Wulf, S., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Corbella, H., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & Zolitschka, B.: Hydrological variability and explosive volcanic activity in southeastern Patagonia during Oxygen Isotope Stage 3 and the Holocene inferred from lake sediments of Laguna Potrok Aike, Argentina.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Haberzettl, T., Corbella, H., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, A., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M., Wulf, S., Zolitschka, B.: Wet-dry cycles in southern Patagonia - Chronology, sedimentology and geochemistry of a lacustrine sediment record from Laguna Potrok Aike (Argentina). *The Holocene*.
- Wagner, S., Widmann, M., Jones, J., Haberzettl, T., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F. & Zolitschka, B.: Transient simulations, empirical reconstructions and forcing mechanisms for the Mid-Holocene hydrological climate in Southern Patagonia. *Climate Dynamics*.

#### 4.1.4 Begutachtete Veröffentlichungen (2003-2007)

##### 2007

- Mayr, C., Lücke, A., Stichler, W., Trimborn, P., Ercolano, B., Oliva, G., Ohlendorf, C., Soto, J., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & Zolitschka, B. (2007): Precipitation origin and evaporation of lakes in semi-arid Patagonia (Argentina) inferred from stable isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ).- *Journal of Hydrology*, 334: 53-63.
- Mayr, C., Wille, M., Haberzettl, T., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Ohlendorf, C., Oliva, G., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & Zolitschka, B. (2007): Holocene variability of the Southern Hemisphere westerlies in Argentinean Patagonia (52°S).- *Quaternary Science Reviews* 26: 579-584.

##### 2006

- Haberzettl, T., Wille, M., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & Zolitschka, B. (2006): Environmental change and fire history of southern Patagonia (Argentina) during the last five centuries.- *Quaternary International*, 158/1: 72-82.



Zolitschka, B., Schäbitz, F., Lücke, A., Corbella, H., Ercolano, B., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Maidana, N., Mayr, C., Ohlendorf, C., Oliva, G., Paez, M.M., Schleser, G.H., Soto, J., Tiberi, P. & Wille, M. (2006): Crater lakes of the Pali Aike Volcanic Field as key sites for paleoclimatic and paleoecological reconstructions in southern Patagonia, Argentina.- *Journal of South American Earth Sciences*, 21/3: 294-309.

#### 2005

Haberzettl, T., Fey, M., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M., Zolitschka, B. (2005): Lake level changes and Medieval Climate Anomaly as reflected by sediments of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia (Argentina). *Journal of Paleolimnology* 33: 283-302.

Mayr, C., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Maidana, N.I., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G., Struck, U., Wille, M. & Zolitschka, B. (2005): Palaeoenvironmental changes in southern Patagonia during the last millennium recorded in lake sediments from Laguna Azul.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 228: 203-227.

#### 2003

Schäbitz, F., Paez, M.M., Mancini, M.V., Quintana, F.A., Wille, M., Corbella, H., Haberzettl, T., Lücke, A., Prieto, A.R., Maidana, N.I., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schleser, G.H., Zolitschka, B. (2003): Estudios paleoambientales en lagos volcánicos de Pali Aike, sur de Patagonia (Argentina): palinología. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 5(2): 301-316.

### 4.2 Nicht begutachtete Zeitschriftenartikel (2004-2006)

#### 2006

Zolitschka, B., Corbella, H., Maidana, N., Ohlendorf, C. (2006). Investigating Maar Formation and the Climate History of Southern Argentina – the Potrok Aike Maar Lake Sediment Archive Drilling Project (PASADO) *Scientific Drilling* 3: 54-55.

Zolitschka, B., Corbella, H., Maidana, N., Ohlendorf, C. (2006). ICDP workshop PASADO: Deep drilling at Laguna Potrok Aike, a maar lake in southern Argentina. *PAGES News*14 (2): 39-40.

Zolitschka, B., ed. (2006). ICDP Workshop Potrok Aike Lake Sediment Archive and Drilling Project (PASADO) – Programme, Abstracts, Excursion guide. *Terra Nostra* 1/2006: 1-88.

Zolitschka, B., F. Schäbitz, A. Lücke, H. Corbella, T. Haberzettl, C. Ohlendorf & G. Oliva (2006). Excursion guide to the crater lake of Laguna Potrok Aike (Santa Cruz, Argentina). *Terra Nostra* 1/2006: 36-51.

#### 2004

Zolitschka, B., Schäbitz, F., Lücke, A., Wille, M., Mayr, C., Ohlendorf, C., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Corbella, H., Ercolano, B., Fey, M., Haberzettl, T., Maidana, N.I., Oliva, G.E., Paez, M., Schleser, G.H. (2004): Climate Change in southern Patagonia (Santa Cruz, Argentina) inferred from lake sediments: The multi-proxy approach of SALSA. *PAGES News* 12 (2): 9-11.

### 4.3 Tagungsbeiträge – Abstracts und Poster (2003-2007)

#### 2007

Haberzettl, T., F. Anselmetti, M. Fey, C. Ohlendorf, A. Lücke, C. Mayr, F. Schäbitz, M. Wille, S. Wulf & B. Zolitschka: Tracking climate events during the past 16 ka in southern South America – the high-resolution multi-proxy record of Laguna Potrok Aike (52°S). *EGU General Assembly 2007*, 15-20 April 2007, Vienna, Austria.

Haberzettl, T., A. Lücke, B. Mauz, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, S. Wulf & B. Zolitschka: Laguna Potrok Aike – a terrestrial link to marine and ice-core records of the southern hemisphere. *XVII INQUA Congress 2007*, 28. July – 3 August 2007, Cairns, Australia.

Haberzettl, T., C. Ohlendorf, F. Anselmetti, D. Ariztegui, C. Corbella, M. Fey, S. Janssen, B. Kück, A. Lücke, B. Mauz, C. Mayr, F. Schäbitz, M. Wille, S. Wulf & B. Zolitschka: 53,000 years of hydrological variability recorded in sediments of Laguna Potrok Aike, southern Patagonia. *4<sup>th</sup> International Limnogeology Congress*, 11-14 July 2007, Barcelona, Spain.

Mayr, C., A. Lücke, M. Wille, T. Haberzettl, N.I. Maidana, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, M. Fey, S. Janssen, B. Zolitschka: Holocene hydrology and west wind variability in southeastern Patagonia inferred from stable isotope and pollen data of Laguna Potrok Aike. *XVII INQUA Congress 2007*, 28. July – 3 August 2007, Cairns, Australia.

- Ohlendorf, C., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, G. Oliva, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, B. Zolitschka: Hydrological balance calculations in Laguna Potrok Aike (Argentina) as a tool for the refinement of sedimentary paleoclimatic reconstructions. Gemeinsames Kolloquium der DFG-Schwerpunkte ICDP-International Continental Scientific Drilling Program – Deutschland und IODP – Integrated Ocean Drilling Program – Deutschland, 19-21 March 2007, Potsdam, Germany.
- Ohlendorf, C., T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, G. Oliva, F. Schäbitz, M. Wille & B. Zolitschka: Monitoring meteorological, hydrological and geochemical processes - a tool to quantify effects of climatic forcing on lacustrine sediments (Laguna Potrok Aike, Argentina). XVII INQUA Congress 2007, 28. July – 3 August 2007, Cairns, Australia.
- Ohlendorf, C., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, G. Oliva, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille & B. Zolitschka: The Potential of Hydrological Balance Calculations in Laguna Potrok Aike (Argentina) to foster Paleoclimatic Reconstructions. 4<sup>th</sup> International Limnogeology Congress, 11-14 July 2007, Barcelona, Spain.
- Quintana, F., Paez, M., Corbella, H., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Maidana, N.I., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B. Pollen analysis of Late Holocene lacustrine sediments from southern Santa Cruz Province, Argentina. 20th Colloquium on Latin American Earth Sciences. 20th Colloquium on Latin American Earth Sciences, Kiel, Germany.
- Schäbitz, F., M. Wille, M. Paez, F. Quintana, N. Maidana, T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, B. Zolitschka: Vegetation and climate development in the southern Patagonian steppe (Argentina) during the younger Quaternary: cores from the Laguna Potrok Aike Maar. XVII INQUA Congress 2007, 28. July – 3 August 2007, Cairns, Australia.

## 2006

- Haberzettl, T., F. Anselmetti, D. Ariztegui, M. Fey, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille & B. Zolitschka (2006): Late Quaternary hydrological variability at Laguna Potrok Aike, southern Patagonia – A terrestrial perspective to climate variability of the southern hemisphere mid to high latitudes. ESF – JSPS Frontier Science Conference Series for Young Researchers, 24-29 June 2006, Nynäshamn, Sweden.
- Janssen, S., M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, M. Wille, S. Wulf & B. Zolitschka (2006): Holocene vegetation and climate changes reconstructed from lake sediments of the Laguna Azul (Santa Cruz Province, Southern Patagonia, Argentina). EGU General Assembly 2006, 2-7 April 2006, Vienna, Austria.
- Lücke, A., Mayr, C., Schleser, G.H., SALSA team members (2006): Sediment core from the centre of Laguna Potrok Aike covering 16,000 years. 2. Potentials and experiences of stable isotope approaches. ICDP Workshop Pasado, Abstract Volume. Terra Nostra 2006/01: 29-30.
- Maidana, N. I.; Aponte, G. A. & SALSA team. Diatomeas fósiles de la Laguna Azul (Santa Cruz). XIII Simposio de Paleobotánica y Palinología, Bahía Blanca, Argentina, 22.-25.5.2006.
- Mayr, C., A. Lücke, F. Anselmetti, D. Ariztegui, M. Fey, S. Janssen, T. Haberzettl, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G. Schleser, M. Wille & B. Zolitschka (2006): Isotope proxies from lake sediments of Laguna Potrok Aike deciphering hydrological changes in the southern Patagonia steppe (52°S) during the last 16,000 years. 10<sup>th</sup> International Paleolimnology Symposium, 25-29 June 2006, Duluth, Minnesota, USA
- Mayr, C., A. Lücke, W. Stichler, P. Trimborn, B. Ercolano, G. Humano, G. Oliva, C. Ohlendorf, J. Soto, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille & B. Zolitschka (2006): Precipitation origin and evaporation of lakes inferred from stable isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ) in southeastern Patagonia (Argentina). ICDP Workshop PASADO, 16-20 March 2006, Rio Gallegos, Argentina; Terra Nostra 2006/01: 20.
- Messyas, B., Maidana, N.I., Mayr, C., Lücke, A., SALSA-team (2006): Summer phytoplankton and hydrochemical factors of the crater lake Laguna Azul (Santa Cruz, Argentina). 25th International Phycological Conference, Proceedings volume: 35.
- Quintana, F., Paez, M., Corbella, H., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Maidana, N.I., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B. Late Holocene pollen records from Laguna Las Vizcachas and Laguna Cháitel (49°-51°S; 71°-72°W), Santa Cruz, Argentina. Simposio Internacional sobre: Variaciones climáticas en América del Sur durante el Holoceno Tardío. Malargüe, Mendoza. Volume of Abstracts 70.
- Wagner, S., J. M. Jones, M. Widmann, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz: Transient simulations and empirical reconstructions for the mid-Holocene hydrological climate in southern Patagonia. 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 24-28 April 2006, Foz do Iguacu, Brazil.

Wagner, S., M. Widmann, J. Jones, T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz & B. Zolitschka (2006): Reconstructing the hydrological climate for Southern Patagonia during the mid-Holocene from transient GCM simulations and empirical proxy evidence. Holivar 2006 Open Science Meeting. Natural Climate Variability and Global Warming. 12-15 June 2006, London, UK.

Zolitschka, B., C. Ohlendorf and the SALSA team: Water at "world's end" – Laguna Potrok Aike: Introduction to an old and deep lake in southernmost Patagonia (Santa Cruz, Argentina). ICDP Workshop PASADO, 16-20 March 2006, Río Gallegos, Argentina; Terra Nostra 2006/01:10-11.

## 2005

Fey, M., Corbella, H., Haberzettl, T., Janssen, S., Kück, B., Lücke, A., Maidana, N.I., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B. (2005): The maar lake Laguna Cháitel (southern Patagonia, Argentina) - first results of a multi-proxy sediment study.- 19th Colloquium on Latin American Geosciences, 18-20 April 2005, Potsdam, Germany; Terra Nostra, 05/1: 43-44.

Fey, M., Haberzettl, T., Jones, J., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., v. Storch, H., Wagner, S., Widmann, M., Wille, M. & Zolitschka, B., 2005. SALSA: South Argentine lake sediment archives and modelling. German Climate Research Programme – Final Symposium (10.-12.5.2005) in Leipzig, Germany: 59-65.

Haberzettl, T., B. Kück, F. Anselmetti, D. Ariztegui, M. Fey, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, S. Wulf & B. Zolitschka (2005): Was the past dry? - Hydrological variations and environmental change in southern Patagonia during the last 45 ka.- ESF Research Conference on Polar Regions and Quaternary Climate – Euro Conference toward an Integrative View of Climate in Antarctica and Circum-Antarctic Regions, 24-29 September 2005, Acquafredda di Maratea, Italy: 10-11.

Haberzettl, T., H. Corbella, M. Fey, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille & B. Zolitschka (2005): Paleoenvironmental Reconstructions from Laguna Potrok Aike, southern Patagonia – The SALSA approach.- 4th NCCR Climate Summer School – From the Holocene to the Anthropocene: Climate of the last 1000 Years, 28.08.-02.09.2005, Grindelwald, Switzerland.

Haberzettl, T., B. Kück, F. Anselmetti, D. Ariztegui, M. Fey, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G. Schleser, M. Wille, S. Wulf & B. Zolitschka (2005): Holocene versus Pleistocene as Recorded in Lake Sediments from Laguna Potrok Aike (Southeastern Patagonia, Argentina).- DEKLIM/PAGES Conference Abstracts 2005, 7-10 March 2005, Mainz, Germany: 126-127.

Haberzettl, T., B. Zolitschka, C. Ohlendorf, M. Fey, F. Anselmetti, D. Ariztegui, F. Charlet, H. Corbella, M. De Batist, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, F. Schäbitz, G. Schleser & M. Wille (2005): Potrok Aike Lake Sediment Archive Drilling Project, southernmost Argentina (PASADO). - Joint Colloquium „Integrated Ocean Drilling Program“ (IODP)/Ocean Drilling Program (ODP) and „International Continental Drilling Program“ (ICDP), 14-16 March 2005, Potsdam, Germany.

Haberzettl, T., B. Kück, F. Anselmetti, D. Ariztegui, M. Fey, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G. Schleser, M. Wille, S. Wulf, Zolitschka, B., 2005. Holocene versus Pleistocene as recorded in lake sediments from Laguna Potrok Aike (Southeastern Patagonia, Argentina). Workshop on Marine and continental paleoclimate records from Chile and Argentina (27.-28.5.2005) in Ghent, Belgium.

Janssen, S., M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, S. Wulf & B. Zolitschka, 2005: Palaeoenvironmental variations inferred from the Holocene crater lake Laguna Azul, southern Patagonia.- DEKLIM Final Symposium (10.-12.5.2005) in Leipzig, Deutschland.

Janssen, S., Wille, M., Schäbitz, F., Fey, M., Mayr, C., Ohlendorf, C., Haberzettl, T., Zolitschka, B., Lücke, A., Schleser, G.-H., Paez, M. & Quintana, F. (2005): Paleoclimate reconstruction based on lake sediments of the Laguna Azul (Santa Cruz Province, southern Patagonia, Argentina).- 19th Colloquium on Latin American Geosciences, 18-20 April 2005, Potsdam, Germany; Terra Nostra, 05/1: 62.

Kück, B., Haberzettl, T., Anselmetti, F., Ariztegui, D., Fey, M., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G., Wille, M., Wulf, S. & Zolitschka, B. (2005): Hydrological variability recorded in the crater lake sediments of Laguna Potrok Aike (southern Patagonia, Argentina) during the last 45,000 years.- 19th Colloquium on Latin American Geosciences, 18-20 April 2005, Potsdam, Germany; Terra Nostra, 05/1: 71-72.

- Maidana, N.I., Aponte, G.A. & Schäbitz, F., 2005. Taxonomía y morfología de *Navicula cardiella* luchini (bacillariophyta). VII. Congreso de Ficología de Latinoamérica y el Caribe. V. Reunión Iberoamericana de Ficología held in La Habana, Cuba (19.-24.9.2005).
- Maidana, N.I., Aponte, G.A. & Schäbitz, F., 2005. *Cyclostephanos salsae* sp. nov. (bacillariophyta) una diatomea nueva para la Patagonia austral, Argentina. VII. Congreso de Ficología de Latinoamérica y el Caribe. V. Reunión Iberoamericana de Ficología held in La Habana, Cuba (19.-24.9.2005).
- Mayr, C., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille & B. Zolitschka (2005): Periods of severe drought – a 16,200-year record from Laguna Potrok Aike, southern Patagonia.- DEKLIM Final Symposium (10.-12.5.2005) in Leipzig, Deutschland.
- Mayr, C., Lücke, A., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G., Wille, M., Zolitschka, B. (2005): Lacustrine isotope records reflect environmental changes in southern Patagonia (Argentina) since the Late-Glacial.- Geophysical Research Abstracts Vol. 7, EGU05-A-06447.
- Ohlendorf, C., S. Wagner, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, J. Jones, A. Lücke, C. Mayr, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Widmann, M. Wille & B. Zolitschka (2005): Past climate changes in South America as reflected by proxy data and climate models.- DEKLIM Final Symposium (10.-12.5.2005) in Leipzig, Deutschland.
- Schäbitz, F., M. Wille, T. Haberzettl, M. Fey, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, G.H. Schleser & B. Zolitschka (2005): Reconstruction of precipitation and temperature data based on pollen records from Laguna Potrok Aike, southern Patagonia.- DEKLIM Final Symposium (10.-12.5.2005) in Leipzig, Deutschland.
- Schäbitz, F., B. Zolitschka, A. Lücke, M. Wille, S. Janssen, C. Mayr, C. Ohlendorf, T. Haberzettl, M. Fey, G.H. Schleser, N.I. Maidana, M. Paez & F. Quintana (2005): Climate and environmental reconstruction in Southern Santa Cruz (Argentina) for the last 1600 years gained from proxies of the SALSA-Project. Holocene environmental catastrophes in South America: From the lowlands to the Andes, 11.-17.3.2005, Miramar, Argentina.
- Wille, M., H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, G. Oliva, F. Schäbitz, G.H. Schleser and B. Zolitschka (2005): Zur Vegetations und Klimageschichte Südpatagoniens (Argentinien) ermittelt aus den Multiproxy-Analysen des SALSA-Projektes, Abstracts des 55. Deutschen Geographentags Trier, 3. bis 5. Oktober 2005, Fachsitzung 21.
- Wille, M., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G. Schleser & B. Zolitschka (2005): Vegetation and climate change in southern Patagonia (Argentina) since the last ice age inferred from sediments of Laguna Potrok Aike.- DEKLIM/PAGES Conference Abstracts 2005, 7-10 March 2005, Mainz, Germany: p. 224.
- Zolitschka, B., T. Haberzettl, C. Ohlendorf, H. Corbella, M. Fey, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, 2005. High-Resolution Record of Hydrological Variability from Semiarid Southern Patagonia. ICDP Conference Continental Scientific Drilling 2005: A decade of progress and challenges for the future (30.3.-1.4.2005) in Potsdam, Germany.
- Zolitschka, B., T. Haberzettl, B. Kück, F. Anselmetti, D. Ariztegui, M. Fey, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G. Schleser, M. Wille, S. Wulf, 2005. Holocene versus Pleistocene as recorded in lake sediments from Laguna Potrok Aike (Southeastern Patagonia, Argentina). ICDP Conference Continental Scientific Drilling 2005: A decade of progress and challenges for the future (30.3.-1.4.2005) in Potsdam, Germany.
- Zolitschka, B., F. Anselmetti, D. Ariztegui, M. DeBatist, H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, C. Kopsch, A. Lücke, N. Maidana, F. Niessen, C. Mayr, C. Ohlendorf, M. Paez, F. Schäbitz, G.-H. Schleser, M. Wille, S. Wulf, 2005. Potrok Aike Lake Sediment Archive Drilling Project, southernmost Argentina (PASADO). ICDP Conference Continental Scientific Drilling 2005: A decade of progress and challenges for the future (30.3.-1.4.2005) in Potsdam, Germany.

## 2004

- Fey, M., H. Corbella; T. Haberzettl; S. Janssen; A. Lücke; N.I. Maidana; C. Mayr; C. Ohlendorf; F. Schäbitz; G.-H. Schleser; M. Wille & B. Zolitschka, 2004. Extra-Andean crater lakes from southern Patagonia, Argentina – actuo-limnology and palaeoclimate reconstruction. In: Németh, K., Martin, U., Goth, K., Lexa, J. (Eds): Abstract Volume of the 2nd International Maar Conference, Hungary-Slovakia-Germany (15–29.9.2004), Kecskemét/Lajosmizse, Hungary; Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary, 203: 54-55.
- Haberzettl, T., M. Fey, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser, Wille, M. and B. Zolitschka, 2004. Lake level changes in Laguna Potrok Aike, southern Patagonia

- during the last two millennia. In: From Source to Delta, Abstract Volume of DEUQUA conference (30.8-3.9.2004), Nijmegen, The Netherlands: 39.
- Mayr, C., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser, W. Stichler, P. Trimborn, M. Wille, B. Zolitschka, 2004. Stable isotope investigations on Holocene sediment records from southern Patagonian crater lakes. In: From Source to Delta, Abstract Volume of DEUQUA conference (30.8-3.9.2004), Nijmegen, The Netherlands: 59.
- Ohlendorf, C., Fey, M., Haberzettl, T., Janssen, S., Lücke, A., Mayr, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & Zolitschka, B., 2004: The potential of Laguna Potrok Aike, Southern Patagonia (Argentina) for deep Lake Drilling. 8th Annual DOSECC Workshop on Continental Scientific Drilling (22-25.5.2004), New Brunswick, New Jersey, USA.
- Ohlendorf, C., F. Anselmetti, D. Ariztegui, H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, F. Schäbitz, G.-H. Schleser, M. Wille, B. Zolitschka, 2004. Seespiegelschwankungen in Laguna Potrok Aike, Südpatagonien (Argentinien). In: GeoLeipzig 2004 – Geowissenschaften sichern Zukunft (29.9.-1.10.2004), Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 34: 345-346.
- Schäbitz, F.; Paez, M. M.; Wille M.; Quintana, F. A.; Fey, M.; Haberzettl, T.; Lücke, A.; Maidana, N.; Mayr C.; Ohlendorf, C.; Schleser, G. H.; Zolitschka, B.; Mancini, M. V. and Prieto, A. R. Paleoaambientes del sur de Santa Cruz, Argentina. Proyecto SALSA (South Argentinean Lake Sediment Archives and Modelling) (Paleoenvironments from southern Santa Cruz, Argentina. SALSA Project). II Reunión Binacional de Ecología (XXI Reunión Argentina de Ecología y XI Reunión de la Sociedad de Ecología de Chile). Mendoza. Volume of Abstracts 423.
- Schäbitz, F., M. Wille, C. Mayr, C. Ohlendorf, T. Haberzettl, M. Fey, A. Lücke, G. Schleser, N. Maidana, M. Paez, F. Quintana, Zolitschka, B., 2004. Climate Development in Southern Santa Cruz (Argentina) During the last 1600 Years Gained from Proxies of the Salsa-Project. Eos Transactions AGU, 85, Fall Meeting Supplement, San Francisco (13.-17.12.2004), Abstract GC53A-05.
- Schäbitz, F., Paez, M., Quintana, F., Wille, M., Mancini, M., Prieto, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Fey, M., Haberzettl, T., Maidana, N.I., Lücke, A., Schleser, G.H., Zolitschka, B., 2004. Modern and fossil pollen assemblages gained from the SALSA-project, southern Santa Cruz, Argentina. Abstracts of the XI. International Pollen Conference, Granada, Spain (4.-9.7.2004), 593.
- Wille, M., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser and B. Zolitschka, 2004. Human impact and vegetation history of southernmost Patagonia, Argentina - Pollen analyses of sediment cores from volcanic lakes covering the late Holocene. In: From Source to Delta, Abstract Volume of DEUQUA conference (30.8-3.9.2004), Nijmegen, The Netherlands: 91.
- Wille, M., M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, N.I. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser and B. Zolitschka, 2004: Neueste Erkenntnisse zur Vegetations- und klimageschichte Südpatagoniens - Das SALSA-Projekt. Abstractband der Jahrestagung des Arbeitskreises Vegetationsgeschichte der Tüxengesellschaft, Berlin (23.-24.10.2004), 32.
- Zolitschka, B., H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, G. Oliva, F. Schäbitz, G.H. Schleser and M. Wille, 2004. The potential of crater lakes from southernmost Patagonia (Santa Cruz, Argentina) as archives for climate and environmental reconstruction and modelling. In: From Source to Delta, Abstract Volume of DEUQUA conference (30.8-3.9.2004), Nijmegen, The Netherlands: 93.
- Zolitschka, B., H. Corbella, M. Fey, T. Haberzettl, S. Janssen, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, C. Ohlendorf, G. Oliva, F. Schäbitz, G.-H. Schleser, M. Wille, 2004: Das Potential von Sedimenten aus südpatagonischen Kraterseen für die Rekonstruktion und Modellierung von Klimazuständen auf der Südhalbkugel (Santa Cruz, Argentinien). In: GeoLeipzig 2004 – Geowissenschaften sichern Zukunft (29.9.-1.10.2004), Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 34: 176-177.
- Zolitschka, B., F. Schäbitz, A. Lücke, M. Fey, S. Janssen, T. Haberzettl, C. Mayr, C. Ohlendorf, G.H. Schleser, M. Wille: SALSA Hydrologische Variabilität in Südpatagonien (Argentinien) während der letzten 45.000 Jahre. Deklim-Paläotreffen in Bremerhaven 6.-8.10.2004.
- Zolitschka, B., T. Haberzettl, C. Ohlendorf, H. Corbella, M. Fey, A. Lücke, N. Maidana, C. Mayr, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, 2004. High-Resolution Record of Hydrological Variability from Semiarid Southern Patagonia. Eos Transactions AGU, 85, Fall Meeting Supplement, San Francisco (13.-17.12.2004), Abstract GC51C-1065.

### 2003

- Fey, M., T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, B. Zolitschka, 2003. SALSA I - Seespiegelschwankungen als Proxy für hygrische

- Klimaverhältnisse während der letzten 1500 Jahre in Südpatagonien (Argentinien). DEKLIM Statusseminar (Bad Münstereifel, Germany: 6.-8.10.2003).
- Haberzettl, T., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & B. Zolitschka, 2003. Sedimentology and physicochemical limnology of crater lakes in the Pali Aike Volcanic Field (PAVF), Southern Patagonia (Argentina). XVI INQUA Congress (Reno, Nevada: 23.-30.7.2003).
- Mayr, C., Haberzettl, T., Lücke, A., Maidana, N., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H., Wille, M. & B. Zolitschka, 2003. Late Holocene records of vegetation and lake level fluctuations from South Patagonian crater lakes. 9th International Paleolimnology Symposium (Helsinki, Finland: 24.-28.8.2003).
- Mayr, C., A. Lücke, G.H. Schleser, M. Fey, T. Haberzettl, C. Ohlendorf, F. Schäbitz, M. Wille, B. Zolitschka, 2003. SALSA III - Hydrologie und Ökosystemdynamik der letzten 1500 Jahre im südlichen Patagonien: Isotopensignale aus Seesedimenten. DEKLIM Statusseminar (Bad Münstereifel, Germany: 6.-8.10.2003).
- Ohlendorf, C., M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, F. Schäbitz, G.H. Schleser, M. Wille, B. Zolitschka, 2003. Lake level changes and human impact as recorded in sediments of crater lakes in southern Patagonia (Argentina). GSA Annual Meeting & Exposition (Seattle, USA: 2.-5.11.2003).
- Ohlendorf, C., Haberzettl, T., Lücke, A., Mayr, C., Schäbitz, F., Schleser, G.-H., Wille, M. & B. Zolitschka, 2003. Crater Lakes in the Pali Aike Volcanic Field, Southern Patagonia (Argentina). 3rd International Limnogeology Congress (Tucson, Arizona: 29.3.-2.4.2003).
- Ohlendorf, C., M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, F. Schäbitz, G.H., Schleser, M. Wille, B. Zolitschka, 2003. South Argentinean Lake Sediment Archives and modelling (SALSA) - Rekonstruktionen von Klimaänderungen in Südpatagonien (Argentinien) - Ein fehlendes Bindeglied für Klimamodellierungen. DEKLIM Statusseminar (Bad Münstereifel, Germany: 6.-8.10.2003).
- Schäbitz, F., M.M. Paez, H. Corbella, G. Clifton, B. Ercolano, T. Haberzettl, A. Lücke, N. Maidana, M.V. Mancini, C. Mayr, C. Ohlendorf, G. Oliva, A.R. Prieto, F.A. Quintana, G.H. Schleser, J. Soto, P. Tiberi, M. Wille y B. Zolitschka. Reconstrucción de ambientes del Cuaternario tardío en sedimentos lacustres de la región volcánica de Pali Aike, Santa Cruz: Proyecto de Cooperación Alemania – Argentina, SALSA (Late Quaternary environmental reconstruction from lacustrine sediments of Pali Aike volcanic field, Santa Cruz: Germany – Argentina cooperation Project, SALSA). XII Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología. Buenos Aires. Volume of Abstracts 54.
- Schäbitz, F., M. Wille, M. Fey, T. Haberzettl, A. Lücke, C. Mayr, C. Ohlendorf, G.H. Schleser, B. Zolitschka, 2003. SALSA II - Vegetations- und Klimarekonstruktion während der letzten 1500 Jahre in Südpatagonien (Argentinien) auf der Basis von Mikrofossilanalysen. DEKLIM Statusseminar (Bad Münstereifel, Germany: 6.-8.10.2003).
- Wille, M., Haberzettl, T., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & B. Zolitschka, 2003. Late Holocene environmental history of southernmost Patagonia, Argentina; pollen analyses of five sediment cores from volcanic lakes. XVI INQUA Congress (Reno, Nevada: 23.-30.7.2003).
- Wille, M., Haberzettl, T., Lücke, A., Mayr, C., Ohlendorf, C., Schäbitz, F., Schleser, G.H. & B. Zolitschka, 2003. A high resolution multi-proxy sediment study in southern Patagonia, Argentina: the SALSA project. XVI INQUA Congress (Reno, Nevada: 23.-30.7.2003).

#### **4.4 Convener bei nationalen und internationalen Tagungen (2004-2007)**

##### **2007**

Augustinus, P., Shane, P., Zolitschka, B.: New directions in maar lake research. 17<sup>th</sup> INQUA Congress in Cairns, Australia (28.7.-3.8.2007).

##### **2006**

Zolitschka, B.: Potrok Aike Sediment Archive Drilling Project. ICDP-Workshop in Río Gallegos, Argentina (16.-19.3.2006).

##### **2005**

Schäbitz, F., H. Veit: Rekonstruktion quartärer Umweltbedingungen in Südamerika. 55. Deutscher Geographentag in Trier, Deutschland (3.-5.10.2005).

**2004**

- Pirrung, M., B. Zolitschka: *Quartäre Klimaentwicklung* (Session 6). GeoLeipzig 2004 – Geowissenschaften sichern Zukunft (29.9.-1.10.2004).
- Zolitschka, B., D. Ariztegui, M. Abbott: *Lacustrine Records Across Latin America: High-Resolution Archives of Environmental Variability*. American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting in San Francisco (13.-17.12.2004).
- Zolitschka, B., D. Ariztegui: *The Late-Quaternary of South America – biological and sedimentological archives for palaeoenvironmental reconstructions*. DEUQUA Meeting in Nijmegen (30.8.-3.9.2004).

**4.5 Qualifikationsarbeiten (2005-2007)****In Vorbereitung**

- Fey, M., in Vorb.: Paläoökologische Studien an Seesedimenten aus dem südlichen Patagonien, Argentinien. Dissertation, Institut für Geographie, Universität Bremen.
- Janssen, S. in Vorb.: Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Klimageschichte des südlichen Südamerikas mittels jungquartärer Sedimente aus dem Kratersee der Laguna Azul (Südpatagonien) und dem Moor der Isla Navarino (Feuerland). Dissertation, Seminar für Geographie und ihre Didaktik, Universität zu Köln.
- Meyer, I., in Vorb.: Die „Kleine Eiszeit“ in Südpatagonien – ein Vergleich paläoklimatischer Rekonstruktionen mit den Ergebnissen eines gekoppelten Ozean-Atmosphären-Klimamodells. Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Bremen.
- Quintana, F., in Vorb.: Paleoambientes del extremo sur de Santa Cruz: análisis polínicos de sedimentos lacustres del Cuaternario Tardío. Dissertation Universidad Nacional de Mar del Plata.

**2006**

- Haberzettl, T., 2006. Late Quaternary hydrological variability in southeastern Patagonia – 45,000 years of terrestrial evidence from Laguna Potrok Aike. Dissertation, Institut für Geographie, Universität Bremen, 142 S.
- Korr, C., 2006. Paläoumweltrekonstruktion der letzten 1600 Jahre an Hand von Sedimenten aus dem Karsee Laguna las Vizcachas (Patagonien, Argentinien). Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Bremen, 81 S.
- Dietrich, S., 2006. Seesedimente als Paläoklimaarchiv am Beispiel der Laguna las Vizcachas, Südpatagonien. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung für das Lehramt für die Sekundarstufe I, Universität zu Köln.

**2005**

- Kück, B., 2005. Sedimentologische Studie zur Erfassung hydrologischer Variationen anhand von Ablagerungen aus dem Kratersee Laguna Potrok Aike (Südpatagonien, Argentinien). Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Bremen, 92 S.

**4.6 Pressemitteilungen (2002-2006)****2006**

- Buscan las claves del clima en Santa Cruz – „Workshop PASADO“ en la UNPA, La Opinión Austral (17.3.2006).
- Un lugar para conocer los cambios climáticos en los últimos 700 mil años – Estudios en la laguna Potrok Aike. La Opinión Austral (20.3.2006).

**2005**

- Científicos internacionales investigarán en la laguna Potrok Aike. La Opinión Austral, (28.10.2005).

**2004**

- Estudian cambio climático a partir de los sedimentos en lagos de Santa Cruz. La Opinión Austral (18.3.2004).



**2003**

Tiene fondo la Laguna Azul? Regresó el grupo de SALSA. La Opinión Austral, 45, p. 6. (4.3.2003)

Die Klimageschichte Südamerikas - Bremer Geowissenschaftler untersuchen Kraterseen in Patagonien. DEKLIM-Forschung aktuell (on-line) (27.05.2003)

**2002**

El fantasma de la Laguna Azul. La Opinión Austral (14.3.2002)

In die Tiefe, in die Vergangenheit. Weserkurier (11.5.2002)

Forscher lesen Klimaveränderungen aus uralten Bodenablagerungen. Westdeutsche Allgemeine Zeitung (28.6.02)

Kerne mit Gedächtnis. Campus – Nachrichten und Berichte aus der Universität Essen, 10 (3), S. 4-5 (Juni 2002).

**4.7 TV-Produktion (2004)****2004**

Das Geheimnis des Seeschlammes – den Klimaänderungen auf der Spur. Eine Sendung von Presse TV in Zusammenarbeit mit dem Schweizerischen Nationalfonds. Produziert von der DIPRO AG, Zürich unter der Regie von Barbara Rady-Rupf.

## 4.8 Verzeichnis der Anlagen

Alle nachfolgend genannten und erschienenen oder im Druck befindlichen Publikationen sind bereits mit dem Schlussbericht des SALSA Koordinator, Prof. Dr. B. Zolitschka, überreicht worden. Der jeweilige Dateiname ist spezifiziert.

Haberzettl et al. (im Druck) in: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology –  
Haberzettl\_et\_al.\_P3.pdf.  
Haberzettl et al. (im Druck) in: The Holocene – Haberzettl\_et\_al.\_Holocene.pdf.  
Haberzettl et al. (2006) in: Quaternary International – Haberzettl\_et\_al.\_2006.pdf.  
Haberzettl et al. (2005) in: Journal of Paleolimnology – Haberzettl\_et\_al.\_2005.pdf.  
Mayr et al. (2007) in: Quaternary Science Reviews – Mayr\_et\_al.\_QSR.pdf.  
Mayr et al. (2007) in: Journal of Hydrology – Mayr\_et\_al.\_2007.pdf.  
Mayr et al. (2005) in: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology –  
Mayr\_et\_al.\_2005.pdf.  
Wagner et al. (im Druck) in: Climate Dynamics – Wagner\_et\_al.\_CD.pdf.  
Zolitschka & Ariztegui (2007) in: Quaternary International – Zolitschka\_&\_Ariztegui\_2007.pdf.  
Zolitschka (2006) in: Terra Nostra – Zolitschka\_2006\_TN.pdf.  
Zolitschka et al. (2006) in: Journal of South American Earth Sciences –  
Zolitschka\_et\_al.\_2006.pdf.  
Zolitschka et al. (2006) in: Scientific Drilling – Zolitschka\_et\_al.\_2006-SD.pdf.  
Zolitschka et al. (2006) in: PAGES News - Zolitschka\_et\_al.\_2006-PAGES.pdf.  
Zolitschka et al. (2004) in: PAGES News - Zolitschka\_et\_al.\_2004-PAGES.pdf.

Auf der CD-ROM enthalten ist eine digitale Version dieses Schlussberichtes als:

SALSA-Schlussbericht: Lücke\_&\_Mayr\_&\_Schleser\_2007.pdf  
Berichtsblatt zum SALSA-Schlussbericht: Berichtsblatt\_SALSA\_III.pdf

## **Berichtsteil III: Erfolgskontrollbericht**

### **1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen von DEKLIM**

Das Projekt SALSA trug zu den folgenden förderpolitischen Schwerpunkten von DEKLIM bei:

- A: Klimavariabilität,
- C: Klimawirkungsforschung,
- D: Methodische Aspekte der Weiterentwicklung von Klimamodellen.

Dabei wurde ein integratives Forschungskonzept verfolgt, das durch interdisziplinäre Bearbeitung und verstärkte Einbindung der nationalen Beiträge in internationale Forschungsprogramme und -kooperationen auch die Kopplung zwischen Modellen und Daten intensiviert hat. Obwohl es sich bei SALSA nicht um ein Nachwuchsförderungsprojekt handelt (DEKLIM Schwerpunkt E), wurde durch die Einbeziehung von drei jungen Postdoktoranden sowie die Möglichkeit für vier Doktoranden und vier Diplomanden ihre Qualifikationsarbeiten im Rahmen von SALSA zu verfassen, auch ein deutlich sichtbarer Beitrag zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses geleistet.

Die Kenntnis der natürlichen Klimavariabilität während des Jungquartärs ist eine wesentliche Grundlage für die Verbesserung des Verständnisses des globalen Klimasystems. Insbesondere auf der Südhemisphäre existieren nur sehr wenige kontinentale Archive, die für diese Zwecke genutzt werden können. SALSA füllt diese Lücke erfolgreich aus, indem quantitative Zeitreihen verschiedener Klimaparameter für die letzten 16.000 Jahre zur Verfügung gestellt werden. SALSA schafft dadurch und durch den Verbund mit der Klimamodellierung (MIDHOL) eine wesentliche Voraussetzung, um die Ursachen der natürlichen Klimavariabilität besser verstehen zu können. Ziel war und ist es, Variabilitäten auf dekadischen Zeitskalen sowie abrupte und graduelle Klimaänderungen der höheren südlichen Breiten zu erfassen. Dies erfolgte unter besonderer Berücksichtigung der Südozeane und der Antarktis mit folgenden Ansätzen:

- Prozessorientierte Forschung durch die Etablierung eines umfassenden Monitoringprogramms für Klima, Limno(geo)logie und Einzugsgebiet,
- Bearbeitung mehrerer unabhängiger natürlicher Archive mit dem Ziel der Beschreibung eines konsistenten Raum-Zeit-Musters,
- Nutzung interdisziplinärer Methoden und Techniken aus den Geo- und Biowissenschaften,
- Erstellung unabhängiger und konsistenter Zeitskalen auf der Basis von Kalenderjahren,
- Entwicklung von Transferfunktionen zur Ableitung quantitativer Klimaparameter (Temperatur, Niederschlag, Wind), die sich u. a. signifikant auf die Hydrologie und somit auch auf die regionalen sozioökonomischen Rahmenbedingungen auswirken.

Fragen der Klimawirkungsforschung wurden ebenfalls berücksichtigt. Insbesondere die längerfristige Klimaschwankung der so genannten „Kleinen Eiszeit“ und die darauf folgende natürliche und anthropogen verstärkte Klimaerwärmung hatte weiterhin erhebliche Auswirkungen auf die Natur- und Kulturlandschaften Südpatagoniens sowie auf die sozioökonomischen Systeme. Im Hinblick auf die sich abzeichnende zukünftige Entwicklung durch zunehmende Erwärmung und damit verbundene zunehmende Aridität konnte SALSA zwar multidisziplinär zu beantwortende Fragen aufwerfen, für eine tiefer gehende Analyse, insbesondere unter Berücksichtigung sozialwissenschaftlicher Disziplinen, waren jedoch die Voraussetzungen und Rahmenbedingungen im Projekt SALSA nicht in ausreichendem Maße gegeben.

Die Weiterentwicklung von Klimamodellen erfolgte im Rahmen des inhaltlich verbundenen DEKLIM-Projektes MIDHOL und befasste sich vor allem mit einer Verbesserung des Verständnisses der Steuerungsfaktoren des Systems Klima und der Regionalisierung des Outputs von globalen Zirkulationsmodellen für regionale Anwendungen und Fragestellungen

mit Bezug zum kontinentalen Südamerika. Ein Vergleich der Klimavariabilität ermittelt aus den Proxydaten des natürlichen Archivs „See“ und Simulationsläufen der Klimamodelle trägt schließlich dazu bei, dass die mit der Untersuchung der Klimavariabilität verbundenen Unsicherheiten reduziert werden konnten.

## 2. Wissenschaftliche Ergebnisse des Vorhabens

Das Projekt SALSA konnte zu einer Reihe von Fragestellungen der Klimaentwicklung im Spätquartär der Südhemisphäre beitragen. Erstmals wurden kontinuierliche und präzise datierte Sedimentsequenzen für das gesamte Holozän (Laguna Azul) sowie für das Holozän, das Spätglazial und das ausklingende letzte Hochglazial (Laguna Potrok Aike) aus dem südlichen Südamerika bearbeitet. Basierend auf einem intensiven Monitoringprogramm wurden Transferfunktionen erarbeitet, die eine Rekonstruktion von quantitativen Klimaparametern über Proxydatensätze des anorganischen Kohlenstoffs, der stabilen Isotope und der Pollen erlauben. Transferfunktionen für die Proxies Diatomeen und Chironomiden werden zurzeit von argentinischen Kollegen im Rahmen des Proyecto de Investigación de Laguna Potrok Aike (PIPA) entwickelt (vgl. Kap. 1.5). Diese Daten fanden Eingang in Wasserbilanz- und Klimamodelle, die zu einem verbesserten Verständnis der ursächlichen Prozesse und Steuerungsmechanismen beigetragen haben.

Die Rekonstruktionen zeigen für die jüngsten Dekaden einen deutlichen Trend zu erhöhter Aridität, der sich durch einen verstärkten Temperatur- und damit Druckgradienten zwischen südpolaren und subtropischen Regionen erklären lässt. Dies führt zu höheren Windgeschwindigkeiten der südhemisphärischen Westwinde und in der Folge zu reduziertem Einfluss von niederschlagsbringenden Ostwindwetterlagen. Entgegengesetzt war die Situation während der Phase der „Kleinen Eiszeit“. Sie führte an der Laguna Potrok Aike zu einem um 15 m höheren Seespiegel. Das Ausmaß der dazu notwendigen Veränderungen bei den klimatischen Faktoren (Temperatur, Niederschlag, Verdunstung) wird zurzeit mithilfe eines hydrologischen Modells berechnet. Während der so genannten „Mittelalterlichen Klimaanomalie“ kehrte sich die Situation erneut um und es dominierten hydrologische Bedingungen, wie wir sie auch im letzten Jahrhundert vorgefunden haben. Insgesamt weist diese Klimavariabilität eine zyklische Struktur auf und reicht bis 7300 Jahre vor heute zurück. Vor diesem Zeitpunkt und bis 8650 Jahre vor heute herrschten extrem trockene Bedingungen, die zu einem maximalen Seespiegeltiefstand bei -35 m geführt haben. Als Ursache werden das Abschmelzen der letzten Inlandseismassen und eine Ausweitung der Meereisbedeckung der Südozeane angenommen. Beides könnte zu einer Intensivierung der Westwindintensität und damit zu einem deutlichen Trend zu erhöhter Aridität geführt haben. Zwischen 8650 und 16.000 Jahren vor heute dominierten überwiegend humidere Bedingungen als im jüngeren Holozän. Lediglich im Spätglazial (13.200-11.400 Jahre vor heute) war eine warm-trockene Phase eingeschaltet. Sie entspricht zeitlich etwa der Jüngeren Dryas auf der Nordhemisphäre und bestätigt, dass es zu dieser Zeit keine global gleichgerichtete Klimaentwicklung gegeben hat.

Im Vergleich zu anderen natürlichen Archiven (u. a. aus dem DEKLIM-Projekt PROSIMUL) konnte gezeigt werden, dass die Variabilität des Klimas auch auf dem südamerikanischen Kontinent höher war als bisher angenommen. Hierzu tragen neben zeitlich befristeten Ereignissen auch zyklische Entwicklungen auf Zeitskalen von Jahrhunderten und Jahrtausenden bei. Regionale Unterschiede in der Ausprägung einzelner Klimatelemente spielen für das Verständnis der Klimaentwicklung ebenfalls eine bedeutende Rolle. Diese Klimaentwicklung wird geprägt durch die noch nicht hinreichend verstandene Interaktion eng miteinander gekoppelter Subsysteme, wie z. B. die Verzahnung atmosphärischer Zirkulationsmuster (El Niño und Antarktische Oszillationen) mit der ozeanischen Zirkulation. Hier konnte die enge Kooperation mit dem DEKLIM-Modellierungsprojekt MIDHOL zu einer entscheidenden Verbesserung des Systemverständnisses beitragen. Ging man bislang davon aus, dass klimatische Variationen in Südamerika auf eine breitenkreisparallele Verschiebung des südhemisphärischen Westwindgürtels zurückgehen, so haben

Modellierungsergebnisse zeigen, dass bereits Veränderungen in der Intensität und Saisonalität der Westwinde ausreichen, um klimawirksam zu werden.

Für eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse des DEKLIM-Projektes SALSA wird auf Kapitel II des Schlussberichts verwiesen. Eine der wesentlichen Erfahrungen, die im Rahmen dieses Projektes gesammelt werden konnten, ist die Erkenntnis, dass eine starke interdisziplinäre Vernetzung und eine Zusammenarbeit mit der Klimamodellierung von unschätzbarem Wert bei der Interpretation von natürlichen Klimaarchiven sind.

### **3. Fortschreibung des Verwertungsplans**

Im Rahmen des Projektes SALSA wurden weder Erfindungen noch Schutzrechtsanmeldungen vorgenommen. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten sind nicht zu erwarten gewesen, da es sich bei diesem Projekt nicht um Arbeiten aus dem Bereich der angewandten Forschung handelte. Die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten nach Projektende sind sehr gut. Die Ergebnisse wurden (seit 2005) und werden (abschließend bis 2008) national und international veröffentlicht. Die erhobenen Daten werden (bis Ende 2008) in nationale und internationale Datenbanken (PANGAEA) eingespeist und stehen somit für öffentliche Aufgaben und wissenschaftliche Netzwerke zur Verfügung. Die erzielten Ergebnisse sind bereits sehr erfolgreich für fortführende Arbeiten in nationalen und internationalen Projekten genutzt worden. Die Erfahrungen aus dem Projekt SALSA (Interdisziplinarität, Kooperation mit der Klimamodellierung) werden auch weiterhin bei der Konzeption und Beantragung von Nachfolgeprojekten berücksichtigt und eingesetzt (vgl. Kap. I.5).

### **4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben**

- entfällt -

### **5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer**

- keine -

### **6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung**

Das für SALSA bewilligte und verfügbare Budget wurde vollständig für die Erreichung der Projektziele eingesetzt. Die Zeitplanung wurde eingehalten. Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgte bereits bzw. wird fortgesetzt.