

Seesedimente als Archive des Klima- und Umweltwandels

Autoren: Bernhard Diekmann & Ulrike Herzsuh

Angesichts der sich abzeichnenden und vermutlich durch den Menschen beeinflussten globalen Klimaerwärmung ist ein Begreifen der natürlichen Klimavariabilität in der Vergangenheit von zunehmender gesellschaftspolitischer Relevanz. Die Rekonstruktion früherer Szenarien der Klima- und Umweltgeschichte aus geologischen Überlieferungen und Klimazeugnissen, sogenannten Klimaarchiven, kann neben rechnergestützten Modellsimulationen (**siehe Kapitel 4.3**) bei der Bewertung und Vorhersage künftiger Auswirkungen des Klimawandels wertvolle Hinweise liefern. Im Rahmen der vernetzten und sektionsübergreifenden Paläoklimaforschung am AWI werden verschiedenartige Klimaarchive wie Meeressedimente, Eiskerne sowie geomorphologische und geokryologische Merkmale des periglazialen Landschaftswandels (**siehe Kapitel 3.1**) eingehend untersucht und ausgewertet. Die limnogeologisch-paläoökologischen Arbeitsgruppen in der Sektion Periglazialforschung am AWI Potsdam nutzen Seeablagerungen aus Sibirien, Zentralasien und der Antarktis als ideales Klimaarchiv der kontinentalen Klima- und Umweltentwicklung der jüngeren Erdgeschichte.



Abb. 1.: Sedimentbeprobung am Billjach-See im Werchojansker Gebirge, Ostsibirien, während der Frühjahrs-Expedition 2005. Die Sedimentkernentnahme aus 18 m Wassertiefe erfolgte über ein dreibeingestütztes Kolbenlotsystem vom 1.5 m dicken Seeeis aus (Foto: Bernhard Diekmann, AWI Potsdam).

Hintergrund

Aus geologischer Erkenntnis hat die Erde im Laufe ihrer 4.7 Milliarden Jahre währenden Entwicklung bereits wiederholt extreme Klimaphasen durchlaufen, die zwischen nahezu eisfreien und ausgeglichenen warmen Bedingungen (Treibhausklima) und Eiszeitaltern mit bipolarer Vereisung (Kühlhausklima) schwankten. Die natürliche Variabilität des Klimasystems vollzieht sich dabei auf verschiedenartigen Zeitskalen, die vom Zeitraum mehrerer hundert Millionen Jahre bis zu wenigen Jahren reichen. Gesteuert wird sie durch Änderungen der primären Sonneneinstrahlung, langfristige geologische Prozesse (Kontinentalverschiebung, Gebirgsbildung), den Kohlenstoffkreislauf sowie dem Energietransfer im interaktiven Systemkomplex von Atmosphäre, Ozean, Kryosphäre (Gletscher und Permafrost), Geosphäre (Boden, Erdkruste) und Biosphäre. Die letzte Treibhausphase reicht über 70 Millionen Jahre in die Kreidezeit zurück, als Dinosaurier die Erde bevölkerten. Seit zweieinhalb Millionen Jahren befindet sich die Erde wieder in einem Eiszeitalter, welches durch die Gegenwart polarer Eiskappen, die weite Verbreitung von Permafrost und hunderttausendjährigen Wechseln kalter und wärmerer Klimaphasen gekennzeichnet ist. Nach dem Rückzug der letzten kaltzeitlichen Eisschilde Skandinaviens, Westsibiriens und Nordamerikas durchlebt der Mensch seit zehntausend Jahren eine Warmzeit (Holozän). Sie ist durch relativ kurzfristige und gemäßigte Klimaschwankungen charakterisiert, die in Zeiträumen weniger Dekaden bis mehrerer Jahrhunderte ablaufen, jedoch beachtlichen Einfluss auf die Menschheitsgeschichte hatten. Bekannte Beispiele aus der jüngsten Phase sind das Mittelalterliche Klimaoptimum (1150-1300 AD), die Kleine Eiszeit (1400-1850 AD) sowie die derzeitige vom Menschen überprägte Erwärmungsphase.

Um zu einem besseren Verständnis der warmzeitlichen Klimadynamik beizutragen, befassen sich die limnogeologischen und paläoökologischen Arbeitsgruppen am AWI Potsdam schwerpunktmäßig mit der holozänen Klima- und Umweltentwicklung. Der wissenschaftliche Ansatz stützt sich auf die Untersuchung von sedimentär überlieferten Umweltsignalen in Seeablagerungen. Seesedimente werden in der Regel kontinuierlich abgelagert und liefern mehrere Meter mächtige und zeitlich hoch aufgelöste Zeugnisse des Umweltwandels, im optimalen Fall mit überlieferter Jahresschichtung (Warven). Die subaquatischen Schlämme setzen sich neben mineralischen Komponenten aus hohen Anteilen organischer Substanz und Mikrofossilien zusammen. Von Interesse sind insbesondere die darin überlieferten biologischen Überreste, wie fossile Kieselalgen (Diatomeen), Zuckmückenlarven (Chironomiden), Muschelkrebse (Ostracoden) und Pollen, die zur Rekonstruktion der vorzeitlichen limnoökologischen Bedingungen, Wassertemperaturen, Wasserstandsänderungen und umgebenden Vegetation der Stehgewässer genutzt werden können. Mineralische Komponenten im Sediment liefern zudem Anhaltspunkte über den mittelbar klimatisch gesteuerten Eintrag von Windstäuben, der partikulären Schwebfracht von Flüssen und Gletscherschutt aus den Gebirgsregionen. Die Rekonstruktion der Umweltbedingungen aus Seeablagerungen liefert somit wertvolle Indizien auf Klimazustände in der Vergangenheit.

Die Beprobung von Seesedimenten erfordert je nach untersuchtem Seetyp einfache bis aufwendige Feldarbeiten. Während der Seegrund von kleinen flachen Seen mit einfachen Stechrohren und Kastengreifern vom Schlauchboot aus durchdrungen werden kann, erfordert die Sedimentkern-Entnahme aus tiefen Gebirgsseen den Einsatz von einem dreibeingestützten Kerngerät, das von schwimmender Plattform oder vom winterlichen Seeeis aus (Abb. 1) operiert. Bevor es zur Sedimentbeprobung kommt, erfordert die übliche Untersuchungsstrategie jedoch eine Reihe von limnoökologischen und geologischen Vorerkundungen. Da aus den in den Sedimentkernen überlieferten fossilen Bioindikatoren Umweltzustände der Vergangenheit rekonstruiert werden sollen, muss zunächst bekannt sein, wie sich die heutigen ökologischen Bedingungen in der Zusammensetzung der rezenten Oberflächensedimente auf dem Seegrund widerspiegelt.

Um diese Informationen zu gewinnen, beprobt man eine Vielzahl von Seen aus den Regionen aus denen man später längere Sedimentbohrkerne bearbeiten will. Die Auswahl der Seen trifft man so, dass sie möglichst einen großen Gradienten der interessierenden Umweltparameter (wie z.B. Temperatur, Niederschlag, pH, Salinität, Gewässertiefe) abdecken. Die Oberflächensedimente werden dabei von der Seemitte von einem Boot aus beprobt und einige Kenngrößen des Sees vor Ort aufgenommen. Außerdem wird an jeder Lokalität eine Wasserprobe entnommen, die im Labor auf die Zusammensetzung der wichtigsten Anionen und Kationen untersucht wird. Die Oberflächensedimente werden dann auf ihr Organismenspektrum untersucht und mit den Umweltparametern numerisch in Beziehung gesetzt. Anhand von Verfahren der multivariaten Statistik entstehen somit Organismen-Umweltparameter-Transferfunktionen. Werden diese Transferfunktionen dann auf fossile Organismenspektren aus Bohrkerproben angewendet, können die Änderungen frühere Umweltparameter quantitativ rekonstruiert werden. Dabei geben die verschiedenen Organismengruppen Informationen über verschiedenen Umweltparameter, während Pollenspektren ein Abbild der regionalen Vegetation und somit des Klimas sind, kann man anhand von Ostracoden und Diatomeen eher wasserchemische Parameter wie pH-Wert und Salinität rekonstruieren.

Ideale Lokalitäten für paläoklimatische Untersuchungen zeichnen sich durch die Präsenz markanter Umweltgradienten aus oder liegen im Grenzbereich aufeinandertreffender gegensätzlicher Klima- oder Vegetationsgürtel. Um nicht in unbekannte Tiefen vorzustoßen, werden die für die Umweltrekonstruktionen vielversprechenden Seen bathymetrisch und seismisch vermessen, um einen Eindruck über die Seebeckengeometrie, geologische Entstehung und Mächtigkeitsverteilung der Sedimentfüllung zu gewinnen. Diese Untersuchungen werden von einer schwimmenden Plattform oder vom Schlauchboot aus durchgeführt. Echolote werden zur Tiefenortung eingesetzt. Der sedimentakustische Messvorgang erfolgt, indem hochfrequente seismische Schallimpulse (3,5-kHz-Seismik) durch die Wassersäule in den Untergrund gesandt werden. Über einen mit Registriereinheiten (Transducer/Hydrophone) ausgestatteten und geschleppten Katamaran werden die Signale über eine Verstärkungs- und Empfängereinheit schließlich auf einem DAT-Rekorder und einem Drucker sowohl digital als auch analog registriert. Abbildung 2 zeigt exemplarisch einen seismischen Profilschnitt aus dem Donggi-Cona-See auf dem Tibet-Plateau, der markante geotektonische Verwerfungen und Seestandsschwankungen im Seebecken dokumentiert.



Abb. 2. Seismisches nord-süd gerichtetes Vertikalprofil durch den Donggi-Cona-See (siehe auch Abb. 6) auf dem nordwestlichen Tibetplateau (Conrad Kopsch & Bernhard Diekmann, AWI Potsdam). Zu erkennen ist die stark gegliederte Morphologie des Seebodens und die Mächtigkeitsverteilung der Sedimentschichten an Hand der akustischen Reflektoren. Die roten Linien deuten auf tektonische Verwerfungslinien im Seebecken. Die braunen Linien deuten auf ältere, zum Teil auskeilende Schichten hin, die von jüngeren Deltaschüttungen (gelbe Linien) und Faulschlamm (unterhalb der blauen Linie) überlagert werden. Die heutige Tiefenlage des Deltakörpers bei 28 m Wassertiefe, der den Schmelzwassereintrag eines eiszeitlichen Gletschers dokumentiert, deutet auf einen vormals erniedrigten Seespiegel hin.

Die laufenden limnogeologischen Arbeiten am AWI Potsdam konzentrieren sich auf äußerst klimasensitive Regionen der Erde. Ein Schwerpunkt liegt in der von Permafrost dominierten sibirischen Region, die sich durch eine im weltweiten Vergleich überdurchschnittliche heutige Erwärmung auszeichnet. Ähnliches gilt für die Antarktis. Hier werden nach langer Potsdamer Tradition in Zusammenarbeit mit universitären Partnern Inlandgewässer in den eisfreien Oasen der Ostantarktis erforscht. Seit 2005 wurden die Arbeitsgebiete auf den „Dritten Pol“ der Erde, das Tibetplateau, ausgedehnt. Auf Grund seiner immensen Ausdehnung und Höhe von durchschnittlich 4000 m über dem Meer herrschen auf dem Hochplateau periglaziale Bedingungen, die jedoch im Gegensatz von den anderen polar diktierten Arbeitsregionen, saisonal vom subtropischen Monsun beeinflusst werden. Künftige Arbeitsregionen sind auf der Kamtschatka-Halbinsel und im Altay-Gebirge Westsibiriens geplant. Im Folgenden werden die momentan laufenden limnogeologischen Forschungsarbeiten in Ostsibirien und auf dem Tibetplateau vorgestellt.

Jakutien, Ostsibirien

Jakutien, die größte Teilrepublik im asiatischen Teil Russlands, repräsentiert naturgeographisch den extremen östlichen Teil Sibiriens, dessen Bedeutung für das globale Klimasystem bisher nur unzureichend verstanden wird. Hochkontinentale Klimabedingungen um den Kältepol der Nordhemisphäre zeigen sich in der jährlichen Temperaturspanne zwischen durchschnittlich -50°C im Winter und bis zu $25-30^{\circ}\text{C}$ im Sommer unter weitverbreitet semiariden Bedingungen. Dominantes Merkmal ist der bis zu 1500 m mächtige Permafrostboden, der unter Tundra- und Taiga-Vegetation verborgen ist. Größere Seen sind rar anzutreffen in Jakutien und beschränken sich auf die Gebirgs- und Gebirgsvorlandsregionen. Beispielhaft sei der Billjach-See im Werchojansker Gebirge genannt, der sich nach dem Rückzug lokaler eiszeitlicher Gebirgsgletscher gebildet hatte. Der Billjach-See wurde während einer Frühjahrsexpedition im Jahre 2005 im Rahmen der deutsch-russischen Wissenschaftskooperation von Limnologen und -ökologen aus Jakutsk, St. Petersburg und Potsdam beprobt (Abb. 1). Dabei konnten bis zu 10 Meter lange Sedimentkerne geborgen werden, die zeitlich mindestens die letzten 20.000 Jahre abdecken. Die im Sediment des Billjach-Sees enthaltenen Pollen dokumentieren einen Vegetationswechsel von Strauch-Vegetation zur typischen heutigen Taigavegetation im Umfeld des Sees mit Beginn der laufenden Warmzeit vor 10.000 Jahren. Weitere Untersuchungen zur Temperaturgeschichte des Sees sind zur Zeit in Arbeit.

Im Gegensatz zu den Gebirgsregionen, beherbergt das zentraljakutische Tiefland zahlreiche See- und Alass-Distrikte, die landschaftsprägend und auf Thermokarst-Prozesse zurückzuführen sind (Abb. 3). Im Initialstadium entstehen durch Auftauen des Dauerfrostbodens flache rundliche bis ovale wassergefüllte Senken, die sich im Laufe der Zeit vertiefen und ausdehnen können. Im Reifestadium formen sich Alasse, jene markanten Hohlformen Jakutiens, die, von steilen Böschungen begrenzt, bis zu 10 km Durchmesser erreichen und oftmals von größeren, bis zu 20 Meter tiefen Thermokarstseen erfüllt sind. Im späteren Verlandungsstadium zerfallen die größeren Seen und Alass-Senken zu einer reliktschen Tümpellandschaft. Thermokarstformen sind daher geologisch betrachtet kurzlebige Gebilde, können aber in unterschiedlichen Reifestadien nebeneinander existieren.

Seit 2003 wurden in Zusammenarbeit mit der Universität Jakutsk regelmäßige Sommerexpeditionen in verschiedene Regionen Jakutiens (u.a. Jakutsk-Region, Villusk-Region, Belaja Gora-Region) durchgeführt, um Oberflächensedimente einer Vielzahl verschiedenartiger Seen zu beproben. Die Seen wurden so ausgewählt, dass sie einen möglichst großen Gradient der Umweltparameter pH, Salinität, und Temperatur abdecken. An den Seesedimenten wurden Zuckmücken, Kieselalgen, Ostracoden und Pollen quantitativ untersucht und mit den Umweltparametern in Beziehung gesetzt. Die Anwendung einer Diatomeen-Salinitäts-Transferfunktion auf einen Bohrkern aus Zentraljakutien brachte erstmals für diese Region quantitative Information über die Änderung des Salzgehaltes im Holozän.



Abb. C. Thermokarstseen in Zentraljakutien: (a) Die Aufnahme zeigt den größten Alas der Region, den 11 km breiten Mürü-Alas, der heute nur noch von kleinen reliktschen Seen erfüllt ist. Die Polygonalmuster am linken Hang deuten auf Ausschmelzprozesse im von Eiskeilnetzen durchzogenen Permafrostboden hin. (b) Der 25 m tiefe Syrdach-See dokumentiert das Reifestadium eines Alasses mit voller Wasserführung (Fotos a, b: Bernhard Diekmann, AWI Potsdam). (c) Der Satagay-See repräsentiert einen der zahlreichen flachen Austauseen Jakutiens (Foto: Luidmilla Pestryakova, Universität Jakutsk).

Sedimentbeprobungen haben gezeigt, dass einige der Thermokarstseen trotz ihrer genetischen Dynamik dennoch Alter von mehreren Tausend Jahren erreichen können und sich daher als Klimaarchive des holozänen Umweltwandels eignen. Bei der Deutung der sedimentären Überlieferung älterer Seeablagerungen ist die Berücksichtigung historischer Aufzeichnungen sowie heutiger Beobachtungen der jungen Entwicklungsgeschichte von Thermokarstseen von Wichtigkeit. So zeigt sich, dass die Thermokarstgewässer recht sensitiv auf Änderungen im klimagesteuerten Wasserhaushalt reagieren, was sich in deutlichen Wasserstandsfluktuationen zeigt. Auch wenn die Intensität der Schneeschmelze einen gewissen Einfluss hat, scheinen die sommerlichen Witterungsverläufe entscheidend zu sein. So äußert sich die heutige globale Erwärmung in Jakutien durch häufige warme und trockene Sommer und zunehmende Verlandung der Seen, während die historischen Wasserhöchststände zu Beginn des 20. Jahrhunderts registriert wurden, als feuchte und kühle Sommer dominierten. Das letzte Jahrhundert war durch mehr oder weniger zyklische Seespiegelfluktuationen gekennzeichnet, die sich in der Größenordnung von 5-15-Jahres-Rhythmen abspielten. Russische Hydrologen postulierten daher bereits in den 1950er Jahren einen Zusammenhang mit periodischen Variationen in der Sonnenfleckenaktivität, deren Relevanz jedoch bisher unzureichend belegt ist. Anzunehmen ist auch, dass die mehrjährigen Klimazyklen mit säkularen Variationen der atmosphärischen Zirkulation zusammen hängen, wie beispielsweise der Nordatlantischen und Arktischen Oszillation

(**Siehe auch Atmo-Kapitel XXX ???**). Historische Beobachtungen belegen indes deutliche Trockenphasen im größten Alass Jakutiens, der Mürü-Senke, die während der Kleinen Eiszeit mit den dem Maunder- und Dalton-Minimum der Sonnenfleckaktivität zusammen fielen. Damals waren die Sommer kühl und trocken.

Ein 12 Meter langer Sedimentkern aus dem 1,70 m tiefen Satagay-See in Zentraljakutien dokumentiert anschaulich die typische Entwicklung eines Flachsees in Zentraljakutien über die letzten 7000 Jahre der laufenden holozänen Warmzeit. In **Abbildung D** sind zeitliche Variationen des Gehaltes an organischem Kohlenstoff sowie fossiler Biogen-Komponenten dargestellt. Hohe Anteile von Uferpflanzen-Fragmenten deuten auf niedrige Seespiegel, während erhöhte Anteile von Algen auf hohe Seespiegel mit verstärkter Planktonproduktion verweisen. Unterschiede in der Kieselalgen- und Grünalgen-Häufigkeit (in diesem Fall die Scenedesmus-Gruppe) geben zudem Auskunft über die Nährstoffbedingungen (Trophie) in der Vergangenheit. Die Daten zeigen eine langfristige Verlandung mit einhergehender Eutrophierung (Scenedesmus) des Sees an. Überlagert wird der langfristige Trend durch zyklische Änderungen des Seestatus, in Anbindung an Multi-Hundertjahres-Rhythmen. Solche Zyklen sind in zahlreichen Klimaarchiven der Erde (z.B. tropische Kalksinter, Baumringe, tropische Meeressedimente, nordhemisphärische Seesedimente) nachweisbar und werden gewöhnlich mit Änderungen der solaren Aktivität in Verbindung gebracht. Ein derartiger Befund für Sibirien ist neu und muss durch künftige Forschungen verifiziert werden.

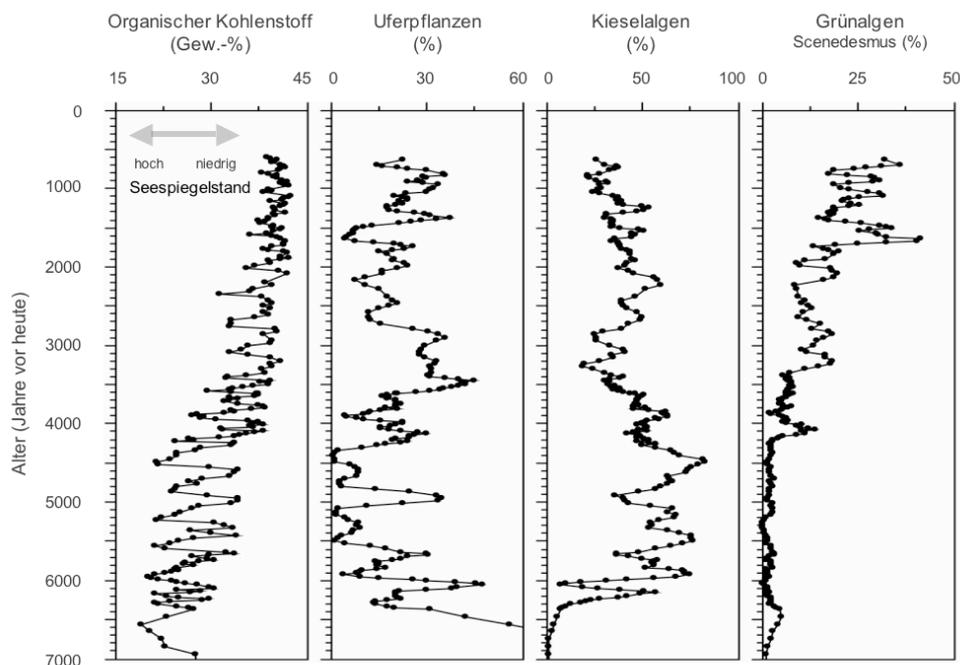


Abb. D. Fossile Bioindikatoren in Sedimenten des Satagay-Sees, die einen langfristigen Eutrophierungstrend und Verlandungstrend sowie kurzfristige Wasserstandsänderungen anzeigen (unveröffentlichte Daten aus deutsch-russischer Kooperation: Diekmann, Gerasimova, Pestryakova, Popp, Subetto).

Tibetplateau, Zentralasien

Aufgrund der großen Erhebung hat das Tibetplateau entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung und Ausprägung der asiatischen Monsunzirkulation. Eine wichtige Kenngröße ist dabei, wie stark sich das Tibetplateau im Frühjahr erwärmt und wie stark sich der Land- Meer-Temperaturunterschied ausbildet, der jedes Jahr zum Einsetzen des Sommermonsuns in Süd- und Südostasien führt. Information über den Klimawandel auf dem Tibetplateau sind daher von hohem wissenschaftlichem Interesse. Seit Langem ist bekannt, dass sich die Klimaverhältnisse auf dem Tibetplateau im Laufe des Holozäns stark änderten, jedoch konnten bisher zumeist nur qualitative Angaben gemacht werden. Ziel der Untersuchungen des Alfred-Wegener-Institutes auf dem Tibetplateau ist es, die Klimaschwankungen zu quantifizieren und die Auswirkungen auf die lokalen Ökosysteme zu rekonstruieren sowie die Konsequenzen für die globalen Zirkulationsmuster zu charakterisieren. Das Tibetplateau ist eines der seenreichsten Regionen der Welt, daher bietet sich die Auswertung der Seesedimente als Klimaarchive hier besonders an. Die Geländeaufenthalte vor Ort und die Analysen der Sedimente werden in enger Kooperation mit der Freien Universität Berlin sowie mit den chinesischen Kooperationspartnern von der chinesischen Akademie der Wissenschaften aus Lanzhou und Nanjing und von der Universität Lanzhou durchgeführt.

Grundlage der quantitativen Klimarekonstruktion bildet die Anwendung von Pollen-Klima-Transferfunktionen auf Seesedimentbohrkerne. Die notwendigen Informationen zur Aufstellung dieser Transferfunktionen bildet ein umfangreicher Datensatz rezenter Pollenspektren analysiert an über 150 Seesedimentoberflächenproben. Diese Proben wurden während Geländearbeiten in verschiedenen Regionen des Tibetplateaus unter oft großem persönlichen Einsatz gewonnen, da die abgelegenen Seen nicht selten nur zu Fuß oder Pferd erreicht werden konnten.

Da die heutigen klimatischen Verhältnisse auf dem Tibetplateau regional sehr verschieden sind, ist es wichtig, dass die paläoklimatischen Untersuchungen an Seen aus möglichst unterschiedlichen Regionen durchgeführt werden. Daher wurden die paläoklimatischen Untersuchungslokalitäten entlang eines Süd-Nord-Transektes auf dem östlichen Tibetplateau ausgewählt, das einen starken Feuchtigkeitsgradienten aufweist. In enger Kooperation mit unseren deutschen und chinesischen Partner konnten in den letzten Jahren schon mehrere Bohrkerne pollenanalytisch untersucht und die Klimaänderungen quantitativ rekonstruiert werden. In **Abb. XX** ist die holozäne Niederschlagsrekonstruktion anhand von Pollen-Niederschlags-Transferfunktionen für einen Bohrkern aus dem Qinghaisee vom nordöstlichen Tibetplateau (3200 m.ü.d.M.) dargestellt. Der Qinghai-See ist der größte Inlandsee Westchinas und einer der bestuntersuchten Paläoklimaarchive des gesamten Landes; eine quantitative Klimarekonstruktion von dieser Lokalität ist daher von besonderem wissenschaftlichem Wert. Die Rekonstruktion deutet auf deutlich höhere Niederschläge im frühen und mittleren Holozän, während die Region im Spätholozän durch vergleichsweise geringe Niederschläge gekennzeichnet ist. Das Minimum der holozänen Niederschläge fällt mit der Periode der „Kleinen Eiszeit“ zusammen, was auf einen engen Zusammenhang der Monsunzirkulation und der Westwindzirkulation deutet. Derartig starke Niederschlagsänderungen haben starke Auswirkungen auf die Ausprägung der Geo-Ökosysteme auf dem Tibetplateau. Das Zusammenspiel von Klima, Geoökosystem und menschlichem Einfluss sollen künftig mit einem umfassenden Paläo-Umwelt-Ansatz an dem auf über 4000 m gelegenen Donggi-Cona-See untersucht werden (**Abb. XX**).



Abb. XX. Blick nach Nordosten über den Donggi-Cona-See auf dem nordöstlichen Tibet-Plateau (Foto: Bernhard Diekmann, AWI Potsdam).

Aktuelle Schriften seit 2005

Andreev, A.A., Tarasov, P.E., Ilyashuk, B.P., Ilyashuk, E.A., Cremer, H., Hermichen, W.-D., Hubberten, H., Wischer, F., 2005. Holocene environmental history recorded in the Lake Lyadhej-To sediments, Polar Urals, Russia. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 223: 181-203.

Andreev, A.A., Klimanov, V. A., 2005. Late-Glacial and Holocene in East Siberia (based on data obtained mainly in Central Yakutia). *Geological Society of America Bulletin*, 382: 98-102.

Andreev, A.A., Pierau, R., Kalugin, I.A., Daryin, A.V., Smolyaninova, L.G., Diekmann, B. 2007. Environmental changes in the northern Altai during the last millennium documented in Lake Teletskoye pollen record. *Quaternary Research*, 67: 394-399.

Diekmann, B., Andreev, A., Müller, G., Lüpfer, H., Pestryakova, L., Subetto, D., 2007. Expedition 'Verkhoyansk 2005' – Limnogeological Studies at Lake Billyakh, Verkhoyansk Mountains, Yakutia. In: Schirrmeister, L. (Hrsg.): *Expeditions in Siberia 2005, Berichte zur Polarforschung*, 550: 247-258; Bremerhaven.

Herzschuh, U., im Druck. Reliability of pollen ratios for environmental reconstructions on the Tibetan Plateau. *Journal of Biogeography*.

Herzschuh, U., Winter, K., Wünnemann, B., Li, S., 2006. A general cooling trend on the central Tibetan Plateau throughout the Holocene recorded by the Lake Zigetang pollen spectra. *Quaternary International*, 154-155: 113-121.

Herzschuh, U., Kürschner, H., Mischke, S., 2006. Temperature variability and vertical vegetation belt shifts during the last ~50,000 yr in the Qilian Mountains (NE margin of the Tibetan Plateau, China). *Quaternary Research*, 66: 133-146.

Herzschuh, U., 2006. Palaeo-moisture evolution at the margins of the Asian monsoon during the last 50 ka. - *Quaternary Science Reviews*, 25: 163-178.

Herzschuh, U., Zhang, C., Mischke, S., Herzschuh, R., Mohammadi, F., Mingram, B., Kürschner, H., Riedel, F., 2005. A late Quaternary lake record from the Qilian Mountains (NW China), evolution of the primary production and the water depth reconstructed from macrofossil, pollen, biomarker and isotope data. *Global and Planetary Change*, 46: 361-379.

Hultsch, N., 2007. Lakustrine Sedimente als Archive des spätquartären Umweltwandels in der Amery-Oase, Ostantarktis. *Berichte zur Polarforschung*, 545, 185 S.; Bremerhaven.

Kalugin, I., Daryin, A., Smolyaninova, L., Andreev, A., Diekmann, B., Khlystov, O., 2007. 800-yr-long records of annual air temperature and precipitation over southern Siberia inferred from Teletskoye Lake sediments. *Quaternary Research*, 67: 400-410.

Nazarova, L., Kumke, T., Pestryakova, L., Hubberten, H. -W., 2005. Chironomid fauna of Central Yakutian lakes (Northern Russia) in palaeoenvironmental investigation, *Chironomus*, 18: 25-27.