

Probengewinnung in Lockersedimenten

Ulrich Harms, Jens Mingram, Brian Brademann
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Understanding the evolution of Earth's climate and environment in the past plays a crucial role to understand its future. Recovery of sedimentary records deposited in lakes provides access to high-resolution long-term archives of this history. The techniques to unearth these archives have to be adapted in each environment to water depth, sediment length targeted at and consolidation of the strata to be recovered. Coring devices ranging from hand-held corer to a professional-operated drill rig mounted on a modular barge are therefore deployed to recover undisturbed sediments from lakes of different sizes.

At the German Research Centre for Geosciences GFZ sediments from small lakes are retrieved mainly through deploying cable-guided piston coring tools from small rafts. Up to almost 100 m core length can be reached with just a small group of scientist. However, in large lakes such as the Dead Sea it is necessary to utilize a marine barge holding a wireline diamond coring drillrig operated by a qualified crew on a 24/7 base. Drillstring lengths of 1000 m and more in several hundred m water depths are retrieved with ICDPs Deep Lake Drilling System.



Klima- und Umweltveränderungen lassen sich nur verstehen, wenn lange Zeiträume betrachtet werden. Aus direkt gemessenen Wetteraufzeichnungen, wie sie seit etwa 130 Jahren vorliegen, kann nur ein sehr eingeschränktes Bild gewonnen werden. Deshalb sind neben historischen Daten vor allem geologische Archive wichtig, denn nur sie bieten einen Blick in die Vergangenheit der Entwicklung der Erdoberfläche und eine ausreichend lange Basis für die Modellierung möglicher zukünftiger Veränderungen.

Ein geologisches Archiv speichert kontinuierlich Wetterparameter wie Temperatur, Niederschlag, Wind, Sonnenschein oder Frost über lange Zeiträume. Beispielsweise zeichnen die Wachstumsringe von Bäumen „gute“ und „schlechte“, also wachstumsfördernde oder -hemmende Jahre in einer Region auf und lassen sich an heutigen Witterungsbedingungen eichen; zudem können die Ringe zurückdatiert werden. Gletschereis und Tropfsteine aus Höhlen weisen vergleichbare Wachstumssäume auf, die mit Niederschlagsereignissen korreliert werden können und sich auch (radiometrisch) datieren lassen. Auch laminierte Sedimente in Seen lassen sich teilweise jährlich oder jahreszeitlich zuordnen und beinhalten eine Vielzahl von Informationen zu Klima und Umwelt. Der Bewuchs im Umfeld eines Sees kann aus Pollen abgeleitet werden, Mineralneubildungen deuten auf Wassertemperatur sowie Wasserchemie hin und Fossilien zeigen spezielle Bedingungen an. Da Seen über Tausende bis Millionen Jahre existieren, können regionale Klimadaten aus deren Sedimenten ausgelesen werden. Eine Grundvoraussetzung ist allerdings, dass die Ablagerungen vom Seegrund auch ungestört und kontinuierlich gewonnen werden können.

Links: Gemeinsame Bohrkampagne des GFZ und der Polnischen Akademie der Wissenschaften, Torun, auf dem Czechowskie-See. Anhand der Bohrkernne kann die Klima- und Umweltgeschichte seit dem Zeitpunkt der Entstehung des Sees am Ende der letzten Eiszeit rekonstruiert werden. (Foto: A. Brauer, GFZ)

Left: Joint drilling campaigns carried out by the GFZ and the Polish Academy of Science, Torun, on Lake Czechowskie. With the aid of the recovered drill cores it is possible for scientists to reconstruct the climate and environmental history since the formation of the lake at the end of the last ice age.

Seesedimentgewinnung mit Stechbohrverfahren

Es gibt eine Vielzahl von Verfahren, mit denen im kleinen Maßstab und mit geringem Aufwand unverfestigte Sedimente aus Seen gewonnen werden. Die Spannweite reicht hier von einigen Dezimetern Sediment mit einem Freifall-Lot aus dem Schlauchboot bis hin zu fast 100 m Seesediment mit dem sogenannten Usinger-Corer. Diese Techniken sind keine drehenden Bohrverfahren, sondern stechen mit dünnwandigen Kunststoff- oder Metallrohren Kerne aus dem Seeboden. Grundsätzlich sind die Gerätetypen zur Gewinnung von Seesedimenten zu untergliedern in a) geführte Kolbenlot-Stechverfahren (Usinger, Niederreiter, Merkt/Streif), b) Gravitations- oder Freifall-Corer mit und ohne Kolben (Kullenberg, Ghilardi, KTH Kajak) und c) Gefrierkernverfahren unter Verwendung von Kühlmitteln. Fast alle diese Verfahren sind auch am Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ verfügbar und wurden bei unterschiedlichsten Expeditionen weltweit eingesetzt. Hier sollen zwei Verfahren vorgestellt werden, die am GFZ häufig genutzt werden.

Usinger-Bohrsystem

Das Usinger-Bohrsystem nutzt zur Kerngewinnung 1 oder 2 m lange Metallrohre mit nur 1 mm Wandstärke. Ursprünglich für das präzise Ausstechen von Profilen in Torfen entwickelt (Usinger, 1991), wurde das Gerät schrittweise für tiefere Bohrungen weiterentwickelt bis zur maximalen Wassertiefe von etwa 50 m. Die bisher erreichte größte Kernlänge beträgt 95 m Sediment bei 13 m Wassertiefe (Mingram et al., 2007). Wie bei allen Kolbenloten wird zum Stechen der an der Unterseite des Kernrohrs fixierte Kolben gelöst und auf Position gehalten, während das Kernrohr in das Sediment vorgetrieben wird (Abb. 1). Somit wandert der Kolben im Kernrohr relativ nach oben bzw. das Kernrohr am Kolben vorbei nach unten in das Sediment. Eine Besonderheit des Usinger-Systems ist das doppelte Gestänge, d. h. ein hohles Bohrgestänge zur Kraftübertragung mit innen laufendem separatem Gestänge zur Fixierung des Kolbens. Diese präzise Kolbenfixierung erlaubt zusammen mit den dünnwandigen Kernrohren ein sehr sauberes und ungestörtes Ausstechen der Sedimente, was insbesondere für feingeschichtete und warvierte Sedimente von großer Bedeutung ist. Die Kraft zum Vortrieb des Kernrohrs kann für die oberen, noch sehr weichen 3 bis 5 m Seesediment meist manuell aufgebracht werden. Danach wird ein benzingetriebener Vibrationshammer mittels Schlagstück oben auf das Bohrgestänge aufgesetzt. Für den Vortrieb in größere Tiefen können auch sukzessive kleinere Rohrdurchmesser eingesetzt werden, von anfänglich



Kontakt: U. Harms
(ulrich.harms@gfz-potsdam.de)

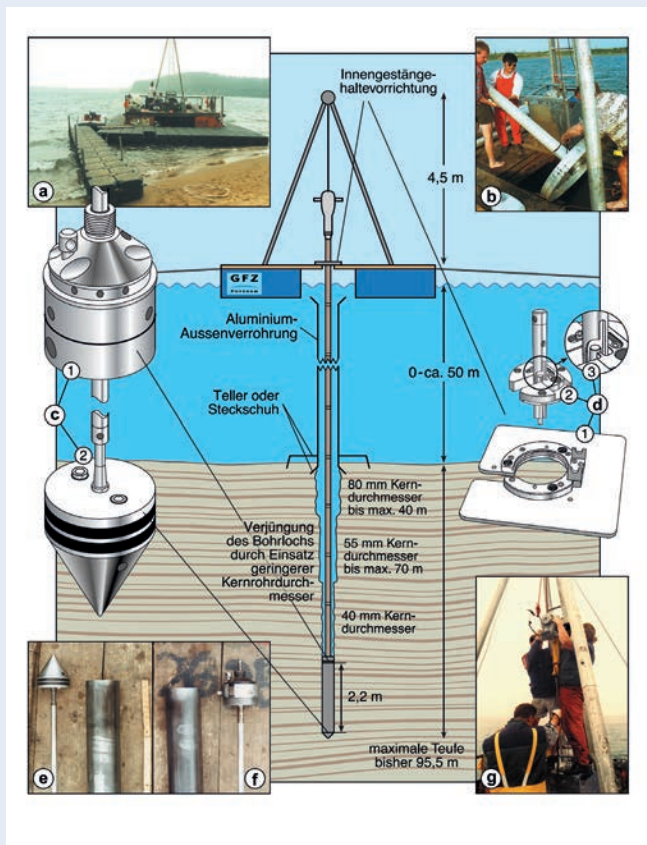


Abb. 1: Schema des Usinger-Bohrsystems für Seesedimente mit
 a) großem Floß aus Pontons;
 b) Einführen der Aluminium-Aussenverrohrung mit Grundplatte;
 c) Details von Kopf (1) und Kolben (2);
 d) Innengestänge-Haltevorrichtung zum Fixieren des Kolbens mit
 (1) Grundplatte für Innengestänge-Haltevorrichtung,
 (2) Innengestänge-Haltevorrichtung und
 (3) Detail der Innengestänge-Haltevorrichtung;
 e) Kolben mit Innengestänge und Kernrohr;
 f) Kopf mit Haltering und Kernrohr;
 g) Vortrieb mit aufgesetztem Vibrations-Hammer
 (Zeichnung: A. Hendrich, GFZ; Fotos: J. Mingram, GFZ)

Fig. 1: Scheme of the Usinger Lake Coring System with
 a) large raft of pontoon;
 b) lowering of the aluminum casing with base plate;
 c) details of drill head (1) and piston (2);
 d) inner rod fixing device with
 (1) base plate of inner rod fixing device,
 (2) inner rod fixing device, and
 (3) detail of the inner rod fixing;
 e) piston with inner rod and steel core barrel;
 f) head with barrel holder and steel core barrel;
 g) top-drive through motor hammer.

100 mm Durchmesser bis hin zu 40 mm für härtere Sedimente. Das Bohrloch wird beim Usinger-Verfahren nicht verrohrt: das Kolbenlot drückt mit jedem neuen Kernrohr das bereits vorhandene Loch wieder frei. Erstaunlicherweise sind die Bohrlöcher selbst im weichen Seesediment recht stabil, so dass bei tiefen Bohrungen auch mehrere Tage im selben Bohrloch gearbeitet werden kann.

Die tiefsten bisher abgeteufte Bohrungen mit dem Usinger-System stammen aus dem Lago Grande di Monticchio in Süditalien. Hier reichen die Sedimente aus einem 95 m tiefen Bohrloch bis in das Ende der vorletzten Eiszeit zurück. Andere lange Sedimentsequenzen konnten aus Maarseen der Eifel und aus Maar- und Kraterseen in China gewonnen werden.

Niederreiter-Kolbenlot

Das Niederreiter-Kolbenlot ist ein seilgeführtes, hydraulisch-mechanisches Stechbohrsystem mit Elektrowindenunterstützung (Abb. 2). Es hat gegenüber dem Usinger-System den Vorteil, auch bei größeren Wassertiefen eingesetzt werden zu können. Das von einem stabilen Floß aus am Seil geführte System wird über einen auf dem Seegrund stehenden Trichter mit Auslöse- und Haltevorrichtung für den Kolben in das Sediment geführt. Die Kolbenfixierung wird, ganz ähnlich wie beim Usinger-System, über ein Innengestänge realisiert. Der Vortrieb erfolgt über am Seil hängende Gewichte (4 x 20 kg) über dem Trichter. Durch über dem Kernrohr eingefügte Verlängerungsstangen erfolgt die Veränderung der jeweilig zu erreichenden Bohrtiefe (Sedimenttiefe). Wahlweise können PVC-Kernrohre oder Stahlbohrkammern mit innenliegenden PVC-Bohrkernhülsen (Liner) zum Kernen eingesetzt werden. Es können Wassertiefen bis zu 240 m erreicht und maximal 30 m Sedimentprofil gestochen werden. Das speziell konstruierte Aluminiumfloß



Abb. 2: Niederreiter-Bohrplattform auf dem Czechowskie-See (Polen, 2012) (Foto: B. Brademann, GFZ)

Fig. 2: Niederreiter Coring platform on Lake Czechowskie (Poland, 2012)

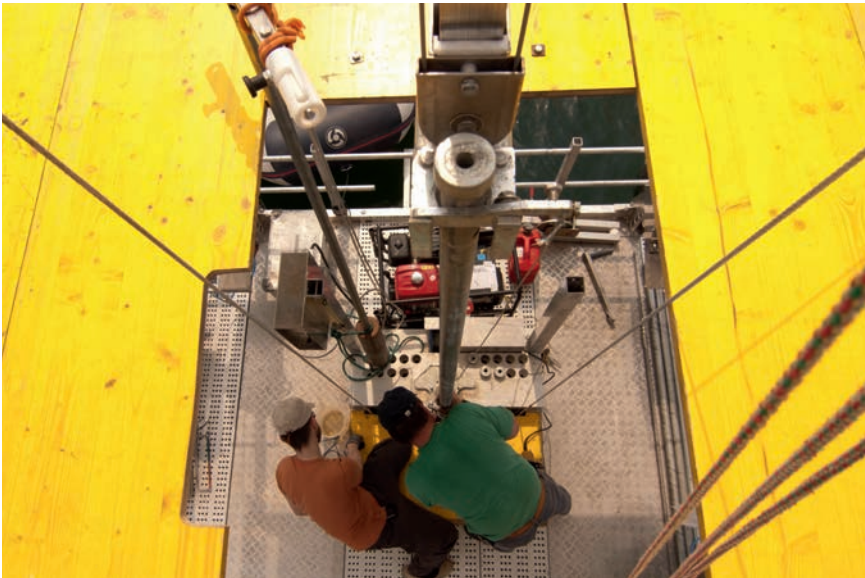


Abb. 3: Detailansicht des Niederreiter-Systems von oben – Gestängelift mit Bohrgestänge und Seilführung (Kamerun 2014, Lake Barombi Mbo-See) (Foto: Y. Garcin, Universität Potsdam)

Fig. 3: Detail of Niederreiter coring system from atop – mechanical lift with drilling rods and guiding ropes on Lake Barombi Mbo (Cameroon, 2014)

mit aufblasbaren Schwimmkörpern trägt ein Vierbein mit Arbeitsbühne und einen motorgetriebenen Lift für die schweren Bohrgestänge (Abb. 3). Mit einem Gewicht von etwa 3 t ist es noch mit einem Geländewagen plus Anhänger transportierbar. Anfang 2014 wurden vom GFZ mit diesem Verfahren z. B. aus dem 105 m tiefen Kratersee Barombi Mbo (Kamerun) drei Kerne von bis zu 20,5 m Gesamtlänge gezogen.

Bohrungen in tiefe Seen

Kontinentale Archive aus großen und langfristig existierenden Seen bieten regionale Klimaproxydaten von hoher Auflösung über lange Zeiträume. Deshalb sind diese im letzten Jahrzehnt zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen gerückt. Mittlerweile sind elf große Seen wie Titicaca, Malawi, Totes Meer und Ohrid im Rahmen des am GFZ koordinierten Internationalen Kontinentalen Wissenschaftlichen Bohrprogramms ICDP (vgl. Einleitungsartikel von Harms in diesem Heft) untersucht worden.

Aus dem Baikalsee in Sibirien wurde 1998 eine lange Kernstrecke von einer im See eingefrorenen Barke aus erbohrt. Das mehrere Mio. Jahre zurückreichende Klimaarchiv bestätigte das Potenzial von Seesedimenten eindrucksvoll. Daraufhin finanzierte ICDP die Entwicklung einer Seebohranlage, die sich vielfältig auf Seen einsetzen ließ (Abb. 4).

Die „Global Lake Drilling Facility“ GLAD800 wurde auf 800 m Gesamtbohrstranglänge, also Wassertiefe plus der zu durchörternden Sedimentstrecke, ausgelegt. Damit konnte gewährleistet werden, dass mehrere glaziale Zyklen von Warm- und Kaltzeiten des Quartärs beprobt werden können. Gleichzeitig wurde das Gewicht der Bohranlage so begrenzt, dass eine kleine, modulare Barke aus acht 20-Fuss-großen Standardcontainern ausreicht, die Anlage zu tragen.

Beim eingesetzten Seilkernbohrverfahren wird ein Bohrgestänge mit einheitlichem Innenradius vom Bohrturm aus rotiert und nachgeführt. Am unteren Ende wird eine Bohrkronen zum Bohren eines Kerns genutzt. Der Gesteinszylinder wandert beim Bohren in ein Kernrohr. Wenn diese Kerngarnitur mit Gestein gefüllt ist, wird sie mit einem windenbetriebenen Stahlseil aus dem Bohrgestänge nach oben herausgezogen (Abb. 5). Das entleerte Kernrohr kann dann wieder in das Bohrgestänge eingeworfen werden, sinkt auf eine Landeschulter vor der Bohrkronen zurück und kann den nächsten Kern aufnehmen. Auf diese Weise wird ein Ausbau des gesamten Bohrstrangs vermieden, das Gestänge bleibt im Bohrloch und kann kontinuierlich Kerne gewinnen. Nur bei einer Abnutzung der Bohrkronen muss der Strang zum Austausch der Kronen ausgebaut werden und dabei das Bohrgestänge einzeln zeitaufwändig entschraubt und Stange für Stange abgelegt werden.

Die Barke wird mit vier elektrischen Seilwinden über dem Bohrloch gehalten. Betongewichte oder Pflugschar-Anker dienen je nach Seebodenbeschaffenheit zur Fixierung der Plattform. Parallelbohrungen können durch leichtes Versetzen abgeteuft werden, Wind- oder Wellendrift wird per GPS kontrolliert und die Plattform entsprechend nachgesteuert. Die GLAD800-Barke besteht aus acht verbundenen Transportcontainern, deren Auftrieb durch eine eingespritzte Hartschaumfüllung sowie eine darunter liegende Gummiblase gewährleistet wird. Letztere wird zum Schleppen der Barke auf dem See aufgepumpt und beim Bohren zur Dämpfung des Wellengangs entleert. Beim Transport über Land werden Hartschaum und Blase aus dem Container entfernt und die gesamte Ausrüstung inklusive des Bohrgeräts darin verstaut.

Da die GLAD800 bei hohem Wellengang instabil ist und das dünne Bohrgestänge Sand- oder Aschelagen nicht sicher durchstoßen kann, wurde 2009 die neue ICDP-Seebohranlage



Abb. 4: Seebohrgerät GLAD800 auf dem Bosumtwi-See in Ghana. Die Barke besteht aus ausgeschäumten Containern und trägt eine modifizierte Seilkernbohranlage mit 800 m Gestängekapazität. (Foto: J. Kück, GFZ)

Fig. 4: Global Lake Drilling Facility GLAD800 with barge consisting of foam-supported containers holding a modified wireline coring drill rig of 800 m drillstring capacity on Lake Bosumtwi, Ghana

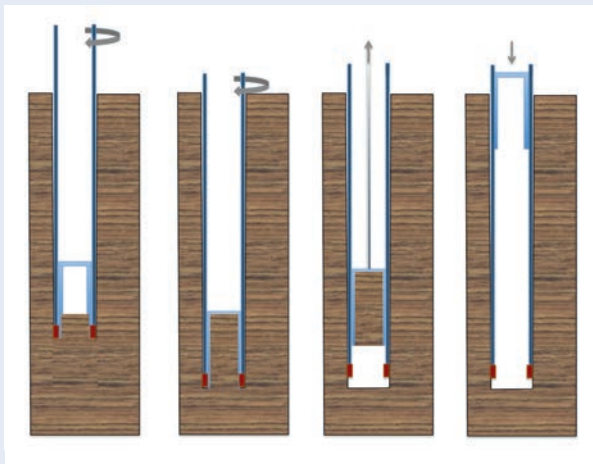


Abb. 5: Prinzip der Gewinnung eines Bohrkerns mit dem Seilkernbohrverfahren

Fig. 5: Sketch of drillcore recovery through wireline coring

Deep Lake Drilling System (DLDS) konstruiert. Sie besteht aus Barkenelementen in 40-Fuss-Containergröße, die für maritime Einsätze konzipiert sind. Sie bilden eine sehr solide Plattform aus sechs Einheiten mit einer Größe von 24,4 x 7,3 m. Die dazu gehörige neue Bohranlage fasst 1400 m Kernbohrbohrgestänge, das starr genug ist, um auch stark verfestigte Lagen sicher zu durchbohren. Es wird mit einem Kraftdrehkopf durch ein 575-PS-Dieselaggregat angetrieben und kann in bis zu 400 m Wasser-

tiefe noch bis zu 1000 m in Sedimente bohren. Wie auch beim Vorgängermodell ist eine professionelle Mannschaft von mindestens drei Bohrtechnikern und zwei Wissenschaftlern zum Einsatz der Bohrplattform erforderlich. Um die notwendige durchgängige Arbeit zu ermöglichen, wird im Zweischichtbetrieb gearbeitet.

Das neue DLDS stellte sich auf der maßgeblich vom GFZ initiierten ICDP-Bohrung im Toten Meer 2011 als sehr stabil heraus und konnte auch im Sommer 2013 erfolgreich in Mazedonien über 2 km Kernstrecke erbohren. An der tiefsten Stelle des Ohridsees, in 250 m Wassertiefe, wurde mehr als 500 m tief ins Sediment gebohrt und mit einer sehr hohen Rate von Kerngewinn von meist deutlich über 90 % die wahrscheinlich mehr als 1,5 Mio. Jahre währende Entwicklung des ältesten Sees in Europa geborgen (Wagner et al., 2014).

Kernbohrausrüstung zur kontinuierlichen Beprobung

Die standardmäßige Kernausrüstung von Seilkernbohranlagen ist für den Probengewinn in kristallinen Hartgesteinen optimiert. Bei weichen Sedimenten stören Diamantkronen oft das Gefüge. Aus diesem Grund sind spezielle Kernbohrinstrumente für Lockergesteine entwickelt worden, die wie beim oben beschriebenen händischen Bohrgewinn Stechzylinder nutzen. Mehrere Meter lange Piston-Werkzeuge werden mit Scherstiften gesichert und durch das Bohrgestänge eingeworfen, wo sie unmittelbar hinter der Krone einrasten. Die Kernausrüstung wird auf das Bohrlochtiefste aufgesetzt und dann Druck über Bohrspülung mit den Pumpen beaufschlagt, bis die Scherstifte bei einem festgelegten Druck abscheren. Dadurch schießt



Abb. 6: Diamant-Bohrkrone (links) und Vollbohrmeißel im HQ-Größe (96 mm Bohrloch)
(Foto: J. Kück, GFZ)

Fig. 6: Diamond core drill bit (left) and bit for non-coring mode (right) in HQ size (96 mm hole diameter)

das Stechrohr und der darin liegende Liner ins Sediment. Die innere Kernbohrgarnitur wird dann per Seilwinde gezogen und der Liner mit der Sedimentsäule obertägig entnommen. Diese hydraulischen Piston-Corer funktionieren üblicherweise bis in mehrere Zehner Meter Sedimenttiefe.

Lässt sich kein Bohrfortschritt mit diesen Werkzeugen mehr realisieren, kommen vorausseilende Innenbohrkronen zum Einsatz, bei denen eine sehr schmallippige Innenkrone den Kern aus dem Gestein schneidet und das kurz dahinter nachgeführte Gestänge mit einer größeren Krone das Bohrloch auf Standardgröße erweitert. Bei noch höheren Festigkeiten der zu bohrenden Gesteine kann auf Standarddiamantkronen umgerüstet werden oder – falls keine Kerne in einem Horizont gewonnen werden sollen – ein Vollbohrmeißel eingesetzt werden (Abb. 6). Der Durchmesser des gewonnenen Kerns beträgt bei diesen Verfahren rund 64 mm.

Ausblick

Seebohrungen liefern zentrale Bausteine für die globale Klima- und Umweltrekonstruktion. Es werden geologische Klimaarchive aus verschiedenen Zonen der Kontinente wie den Polargebieten, den Tropen und den gemäßigten Breiten untersucht, die dazu beitragen, natürliche Klimaschwankungen und -sprünge besser zu verstehen. Ein Beispiel ist die vom GFZ mit initiierte Bohrung mit der GLAD800 in den Elgygytgyn-See in der nordöstlichen sibirischen Arktis. Dort hat sich gezeigt, dass extreme Warmzeiten in der Arktis mit antarktischen Gletscherrückgängen parallel verlaufen sind (Melles *et al.*, 2012), also unerwartete globale Fernbeziehungen in Klimaschwankungen existieren.

Gegenwärtig werden im ICDP Seebohrungen in tropischen Regionen wie dem Junín-See in Peru und auf der indonesischen Insel Sulawesi im Towuti-See vorbereitet, um Lücken im Verständnis der tropischen Klimavariationen, z. B. im Hinblick auf das El Niño/La Niña-Phänomen, zu schließen.

Literatur

- Melles, M., Brigham Grette, J., Minyuk, P. S., Nowaczyk, N., Wennrich, V., DeConto, R. M., Anderson, P. M., Andreev, A. A., Coletti, A., Cook, T. L., Haltia Hovi, E., Kukkonen, M., Lozhkin, A. V., Rosén, P., Tarasov, P., Vogel, H., Wagner, B. (2012): 2.8 Million Years of Arctic Climate Change from Lake El'gygytgyn, NE Russia. - *Science*, 337, 6092, 315-320.
DOI: <http://doi.org/10.1126/science.1222135>
- Mingram, J., Negendank, J. F., Brauer, A., Berger, D., Hendrich, A., Köhler, M., Usinger, H. (2007): Long cores from small lakes—recovering up to 100 m-long lake sediment sequences with a high-precision rod-operated piston corer (Usinger-corer). - *Journal of Paleolimnology*, 37, 4, 517-528.
DOI: <http://doi.org/10.1007/s10933-006-9035-4>
- Usinger, H. (1991): Ein Stechbohrgerät zum Bergen von Torfen und Seesedimenten für den Einsatz bis zu größeren Tiefen. - In: Negendank, J. W. F., Zolitschka, B. (Eds.), *Symposium on Paleolimnology of Maar Lakes: program, abstracts, excursion guide*, International Symposium on Paleolimnology of Maar Lakes (Bitburg, Germany 1991), p. 55.
- Wagner, B., Wilke, T., Krastel, S., Zanchetta, G., Sulpizio, R., Reicherter, K., Leng, M., Grazhdani, A., Trajanovski, S., Levkov, Z., Reed, J., Wonik, T. (2014): More Than One Million Years of History in Lake Ohrid Cores. - *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 95, 3, 25-26.
DOI: <http://doi.org/10.1002/2014EO030001>