14000 Jahre Klimageschichte am Lauenensee

Autor(en): **Zweifel, Noemi / Schwörer, Christoph / Heiri, Oliver**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **70 (2013)**

PDF erstellt am: **26.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-389802

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Noëmi Zweifel[1], Christoph Schwörer[1], Oliver Heiri[1]

14 000 Jahre Klimageschichte am Lauenensee

Zusammenfassung

Anhand fossiler Überreste von Chironomiden (Zuckmücken) in den Sedimenten des Lauenensees wurden Temperaturveränderungen im westlichen Berner Oberland über die letzten 14 000 Jahre rekonstruiert. Mittlere Juli-Lufttemperaturen wurden mithilfe eines Kalibrationsdatensatzes und eines Temperaturrekonstruktionsmodells rekonstruiert, welches bereits in einer früheren Studie entwickelt worden ist. Während dem Allerød (~14,000–12,700 kal. Jahre vor heute) wurden Temperaturen zwischen 8,7–12,0 °C berechnet, während der Jüngeren Dryaszeit (~12 700–11 700 kal. Jahre vor heute) Werte um 10,2–10,7 °C und während dem Früh- bis Mittelholozän (~11 700–3000 kal. Jahre vor heute) Temperaturen um 12,0–14,5 °C. Für das Spätholozän (ab ~3000 kal. Jahre vor heute) wurden tiefere Temperaturen (10–12 °C) geschätzt. Der menschliche Einfluss wird ab 4300 kal. Jahre vor heute deutlich in den Chironomidenvergesellschaftungen sichtbar und beeinträchtigt möglicherweise die Verlässlichkeit der Temperaturrekonstruktion für dieses Zeitintervall. Die Temperaturrekonstruktion stimmt gut mit anderen paläoklimatischen Rekonstruktionen der Alpen sowie dem Anstieg der Baumgrenze in dieser Region überein.

Einleitung

Die Larven der Zuckmücken (Diptera: Chironomidae, *Abb. 1 A)* kommen in grosser Anzahl in Süsswasserökosystemen in fast allen Regionen der Welt vor (Walker 1987). Ihre stark chitinhaltigen Kopfkapseln *(Abb. 1 B/C)* bleiben lange in Seesedimenten erhalten und erlauben so die Rekonstruktion von Veränderungen der Chironomidengesellschaften in Seen über Jahrhunderte bis Jahrtausende (Walker 1987). Da die meisten Chironomidenarten enge ökologische Anforderungen aufweisen, eignen sich Chironomiden besonders zur Rekonstruktion vergangener Umweltbedingungen. So ermöglicht zum Beispiel der starke Zusammenhang zwischen der Verbreitung verschiedener Chironomidentaxa und der Sommertemperatur die quantitative Rekonstruktion von Temperaturveränderungen in der Vergangenheit (Heiri et al. 2011). Solche Chironomiden-basierte Temperaturrekonstruktionen haben bereits beträchtlich zum Wissen über unser Klimasystem beigetragen. Sie helfen, die Klimavariabilität über lange Zeiträume zu quantifizieren und können zur Kalibration von Klimamodellen verwendet werden.

[1] Institut für Pflanzenwissenschaften und Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern, Altenbergrain 21, CH-3013 Bern, Schweiz

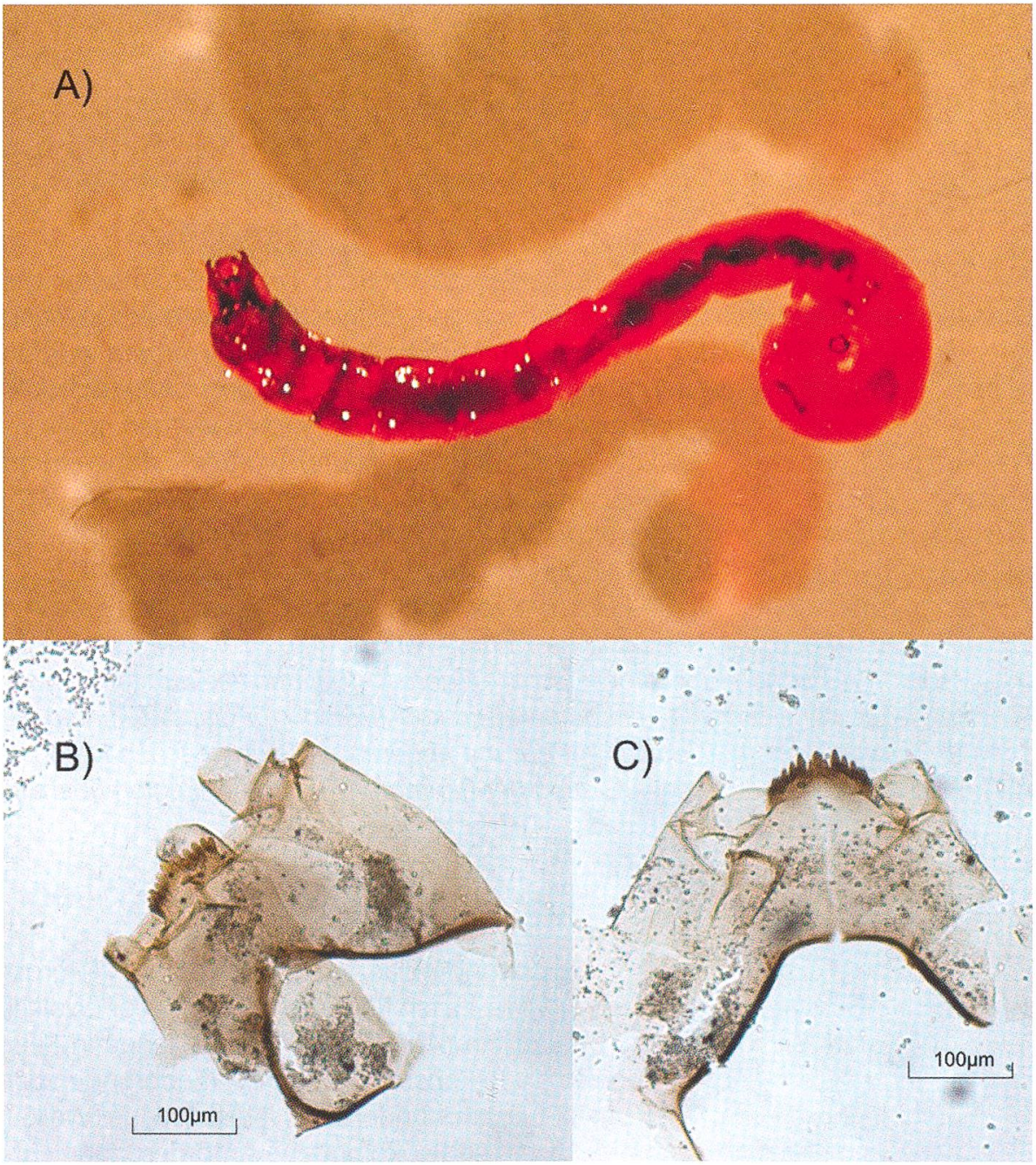

Abbildung 1: A) Fotografie einer rezenten Chironomidenlarve und B/C) einiger der subfossilen Chironomidenkopfkapseln, welche im Sediment gefunden worden sind. Der Durchmesser der Kopfkapseln entspricht in etwa 100 bis 400 µm.

Mehrere Temperaturrekonstruktionen, basierend auf den Überresten von Chironomiden, sind aus dem Alpenraum bekannt. Während einige Studien den Fokus auf die grossen klimatischen Schwankungen des Spätglazials (ca. 16 000–11 500 kalibrierte ^{14}C Jahre [kal. Jahre] vor heute) gelegt haben (e.g. Samartin et al. 2012), konzentrierten sich andere Untersuchungen auf Temperaturschwankungen der letzten 2000 Jahre (e.g. Millet et al. 2009). Einige Rekonstruktionen decken das gesamte Holozän (ca. 11 500 kal. Jahre vor heute bis zur

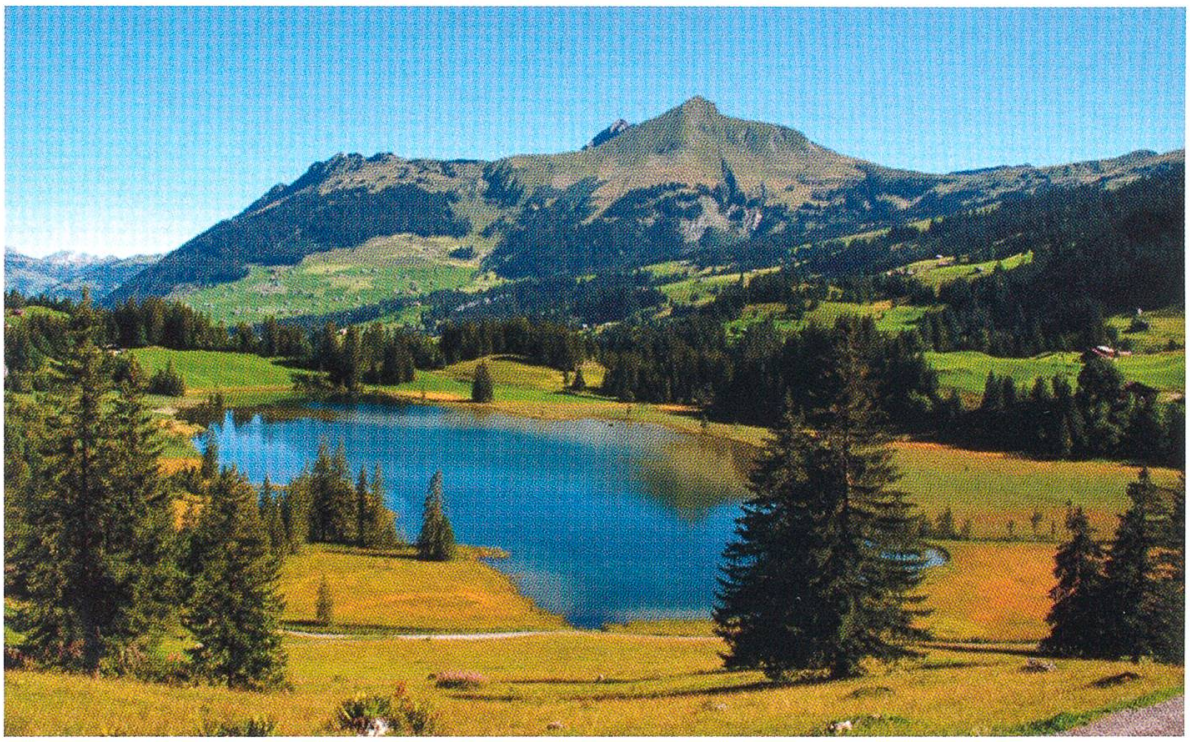

Abbildung 2: Fotografie des Lauenensees.

Gegenwart) ab. So zum Beispiel die Rekonstruktion von Laroque-Tobler et al. (2010) am Egelsee im Schweizer Mittelland sowie Rekonstruktionen von Heiri und Lotter (2003) und Heiri et al. (2003) am subalpinen Hinterburgsee und am alpinen Sägistalsee im östlichen Berner Oberland und die Rekonstruktion von Ilyashuk et al. (2011) am alpinen Schwarzsee ob Sölden in den Österreichischen Alpen.

Für die Schweiz zeigen Rekonstruktionen der starken Temperaturveränderungen des Spätglazials eine relativ gute Übereinstimmung. Die schwächeren Temperaturschwankungen des Holozäns hingegen sind schwieriger zu rekonstruieren. Einerseits wird die Verbreitung der verschiedenen Chironomidentaxa nicht ausschliesslich durch die Temperatur beeinflusst, sondern wird auch durch die Ausprägung anderer Umweltvariablen mitbestimmt. So kommen z.B. gewisse Chironomindenarten nur bei bestimmten Nährstoff-, pH- und Sauerstoffbedingungen vor (Velle et al. 2010). Dazu kommt, dass die Temperaturschwankungen des Holozäns oft innerhalb des Rekonstruktionsfehlers der verfügbaren statistischen Modelle liegen, die zur Rekonstruktion vergangener Temperaturveränderungen mithilfe von Chironomidendaten gebraucht werden (Heiri et al. 2003). Um ein verlässliches regionales Bild der Temperaturentwicklung zu erhalten, und auch kleinere Temperaturveränderungen verlässlich zu rekonstruieren sind deshalb weitere Rekonstruktionen aus dem Alpenraum erforderlich.

Mit dieser Studie präsentieren wir eine Temperaturrekonstruktion des subalpinen Lauenensees im Berner Oberland (1385 m ü.M., *Abb. 2).* Es ist die erste Chironomiden-basierte Temperaturrekonstruktion in den Nordalpen, die sowohl

das Spätglazial wie auch das gesamte Holozän abdeckt. Eine gleichzeitig durchgeführte Partnerstudie (Rey et al. 2013) erlaubt den Vergleich unserer Rekonstruktion mit Veränderungen in der umliegenden Gebirgsvegetation als Reaktion auf vergangene Klimaveränderungen. Um abzuschätzen, ob die Temperaturrekonstruktion mit anderen Klimarekonstruktionen im Alpenraum übereinstimmt, vergleichen wir die Resultate mit paläoökologischen Rekonstruktionen aus benachbarten Regionen.

Methoden

Analyse der Sedimente

Zwei parallele Sedimentkerne wurden an der tiefsten Stelle im nördlichen, tieferen Becken des Lauenensees entnommen. Die Kerne wurden anhand auffälliger sedimentologischer Strukturen korreliert und zu einer einzigen Sequenz von 13,85 Meter Länge kombiniert. Das Alter der Sedimente wurde anhand von 11 Radiokarbon-Datierungen an terrestrischem Pflanzenmaterial ermittelt (Rey et al. 2013). Für die Chironomidenanalyse wurden 57 Sedimentproben (9–20 cm^3) in Abständen von 16 cm entnommen. Die Proben wurden gesiebt (100 und 200 µm Maschenweite), und anschliessend wurden die Kopfkapseln unter dem Stereomikroskop mithilfe einer Pinzette aus den Proben gepickt. Es wurden mindestens 50 Kopfkapseln pro Probe bis zur Gattung, Artengruppe oder Art bestimmt. Proben mit weniger als 50 Kopfkapseln wurden zusammengelegt, sodass sie mindestens 30 Kopfkapseln enthielten. Die Taxonomie folgte Brooks et al. (2007) und Wiederholm (1983) mit Ausnahme der Unterfamilie Tanypodinae, in der Kopfkapseln der Tribus Pentaneurini nicht weiter bestimmt wurden.

Temperaturrekonstruktion

Die mittlere Juli-Lufttemperatur wurde mittels eines Temperaturrekonstruktions-Modells berechnet, welches auf einem Kalibrationsdatensatz aus Chironomidenproben von 117 Schweizer Seen basiert (Heiri et al. 2011). In jedem See wurde die heutige Chironomidenvergesellschaftung anhand einer Sedimentprobe aus dem tiefsten Teil des Seebeckens untersucht. Zusammen mit Schätzungen der mittleren Juli-Lufttemperatur an den Seen erlaubt dieser Datensatz mittels eines statistischen Modells, basierend auf WAPLS *(weighted-averaging/partial least squares regression;* ter Braak und Juggins 1993), die quantitative Schätzung von vergangenen Sommertemperaturwerten anhand von Vergesellschaftungen fossiler Chironomiden. Das Modell mit derselben taxonomischen Auflösung der Lauenenseestratigraphie hat einen Schätzfehler *(cross-validated root mean squared error;* RMSEP) von 1,76 °C und einen Determinationskoeffizienten (r^2) zwischen beobachteten und

berechneten Juli-Lufttemperaturwerten von 0.81 °C. Eine detaillierte Beschreibung des statistischen Modells, des Kalibrationsdatensatzes und des paläoökologischen Ansatzes zur Temperaturrekonstruktion sind in Heiri et al. (2011) zu finden.

Resultate

Gesamthaft wurden 36 unterschiedliche Chironomidentaxa in der Lauenenseestratigraphie bestimmt *(Abb. 3)*. Die Stratigraphie wurde in 9 Zonen unterteilt. Die zwei untersten Zonen (LAUC-1 und 2, 1,176–774 cm, ~14 000–13 100 kal. Jahre vor heute) zeigen starke Wechsel in den Chironomidengesellschaften. Larven des *Tanytarsus lugens-Morphotyps* dominieren, mit gelegentlichem Vorkommen von *Micropsectra radialis-, Heterotrissocladius grimshawi-, Tanytarsus pallidicornis-, Tanytarsus mendax-* und *Chironomus anthracinus*-Typ und von *Paracladius.* In der nächst höher gelegenen Zone (LAUC-3, 774–630 cm, ~13 100–11 700 kal. Jahre vor heute) herrschen *T. lugens*-Typ und *H. grimshawi*-Typ vor. Diese Taxa werden in LAUC-4 (630–582 cm, ~11 700–11 000 kal. Jahre vor heute) von *C. anthracinus*-Typ, Paratanytarsus penicillatus-Typ und *T. mendax*-Typ verdrängt. Auch *T. pallidi-*

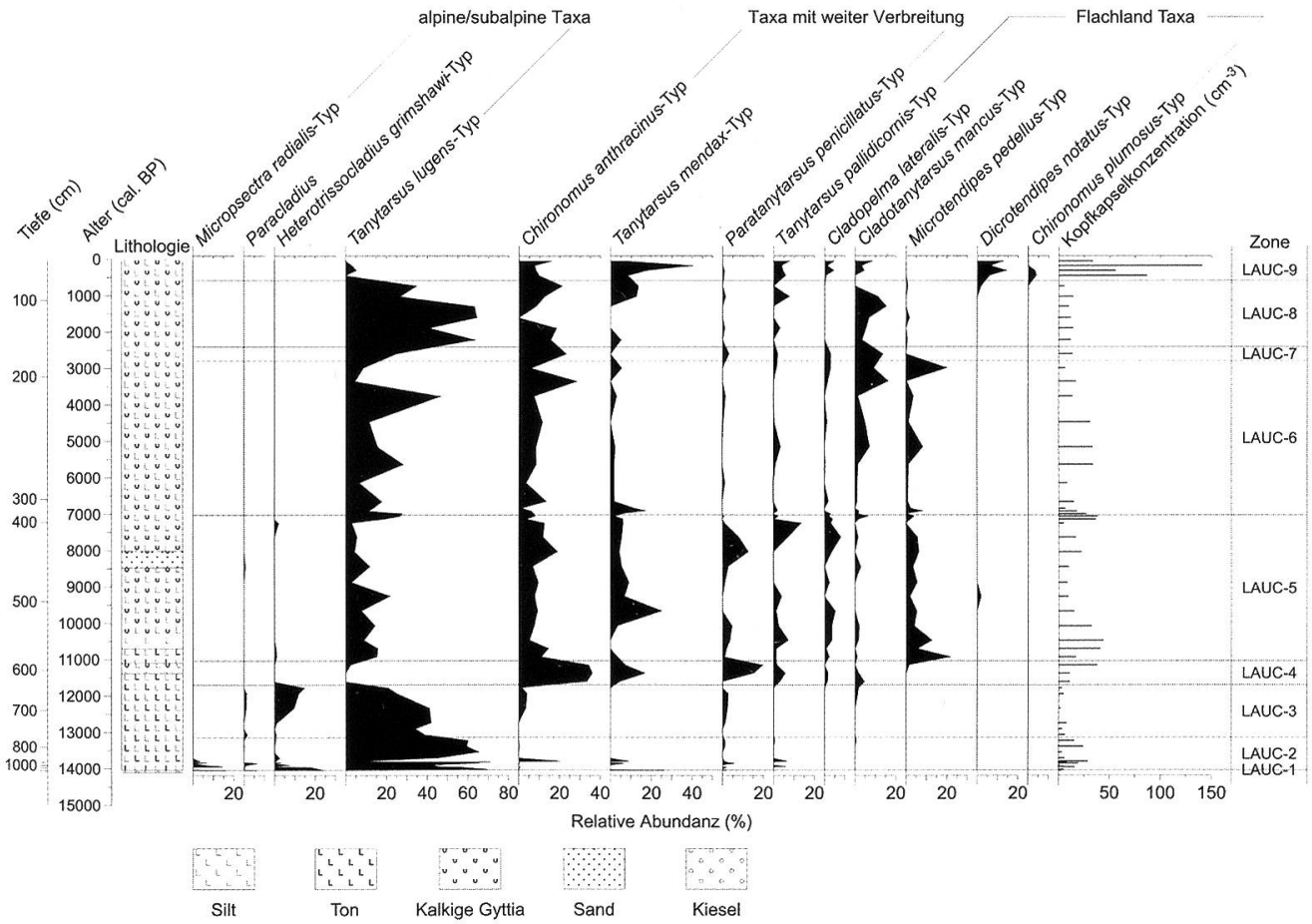

Abbildung 3: Abundanzen ausgewählter Chironomidentaxa in den Sedimenten des Lauenensees (als Prozente der totalen Kopfkapselzahl). Zonengrenzen sind mit horizontalen Linien dargestellt.

cornis-Typ, *Cladotanytarsus mancus*-Typ und *Cladopelma lateralis*-Typ treten nun auf. In LAUC-5 (582–358 cm, ~11 000–7000 kal. Jahre vor heute) etablieren sich neue Taxa, wie z.B. *Microtendipes pedellus*-Typ und *Polypedilum nubeculosum*-Typ. Die Häufigkeit von *T. lugens*-Typ steigt in LAUC-5 und 6 leicht an, in den Zonen LAUC-7 und 8 (182–70 cm, ~2 800–600 kal. Jahre vor heute) ist dieser Morphotyp jedoch wieder als dominantes Taxon zu finden. Zugleich verschwindet *C. lateralis*-Typ und die Häufigkeit von *M. pedellus*-Typ nimmt stark ab. LAUC-9 (70–14 cm, ~600–52 kal. Jahre vor heute) ist charakterisiert durch das Auftreten von *Dicrotendipes notatus*-Typ und *Chironomus plumosus*-Typ und dem fast vollständigen Verschwinden von *T. lugens*-Typ.

In LAUC-1 und 2 zeigen die rekonstruierten mittleren Julitemperaturen starke Schwankungen zwischen 8,7–12,0 °C *(Abb. 4 b).* Von 798 cm (13 400 kal. Jahre vor heute) an sind die Temperaturen stabiler um 10,2–10,7 °C. In LAUC-4 steigen die rekonstruierten Werte stark an und erreichen Höchstwerte um 14 °C. In LAUC-5 und 6 schwanken die Werte zwischen 12,0–14,5 °C und sinken dann in LAUC-7 und 8 auf einen Durchschnittswert von 11.6 °C ab. Die Temperaturen schwanken jedoch stark und steigen dann in LAUC-9 noch einmal an zu Werten im Bereich von 14,0–14,5 °C.

Diskussion

Ökologische Interpretation

Die Sedimentschichten, die auf ein Alter von 14 000–13 100 kal. Jahre vor heute datiert wurden, sind von Taxa dominiert, die in den Schweizer Alpen bevorzugt über einer Höhe von 1500 m ü.M. vorkommen, wie z.B. T. *lugens-, M. radialis-* und *H. grimshawi*-Typ (Heiri et al. 2011). Dies weist auf tiefe Temperaturen (Heiri et al. 2011) und oligotrophe (nährstoffarme) Bedingungen hin (Brooks et al. 2007). Der See könnte zu dieser Zeit unter dem Einfluss von Schmelzwasser aus den Gletschern in höheren Lagen gestanden haben, worauf auch die hohe Sedimentationsrate hindeutet. Dies würde zu tieferen Wassertemperaturen und somit zur Abwesenheit von Arten mit wärmeren Temperaturpräferenzen führen. Taxa mit einer Verbreitung in wärmeren Seen erscheinen nur sporadisch in dieser Periode (z.B. *C. anthracinus-, T. mendax-* und *T. pallidicornis*-Typ; Heiri et al. 2011).

In der darauffolgenden Periode (13 100–11 700 kal. Jahre vor heute), die mit der Jüngeren Dryas-Kältephase übereinstimmt, sind wiederum fast ausschliesslich Taxa zu finden, die typischerweise in alpinen Seen vorkommen, wie z.B. *H. grimshawi*-Typ, *Paracladius* und *T. lugens*-Typ (Heiri et al. 2011). Zudem sind Taxa, welche im Kalibrationsdatensatz in Tieflandseen zu finden sind, fast vollständig abwesend.

Der Beginn des Holozäns wird durch einen drastischen Wechsel in der Chironomidengesellschaft angezeigt. Alpine Taxa werden ersetzt durch Taxa, die heute bevorzugt in der subalpinen Zone und im Tiefland vorkommen (Heiri et al. 2011),

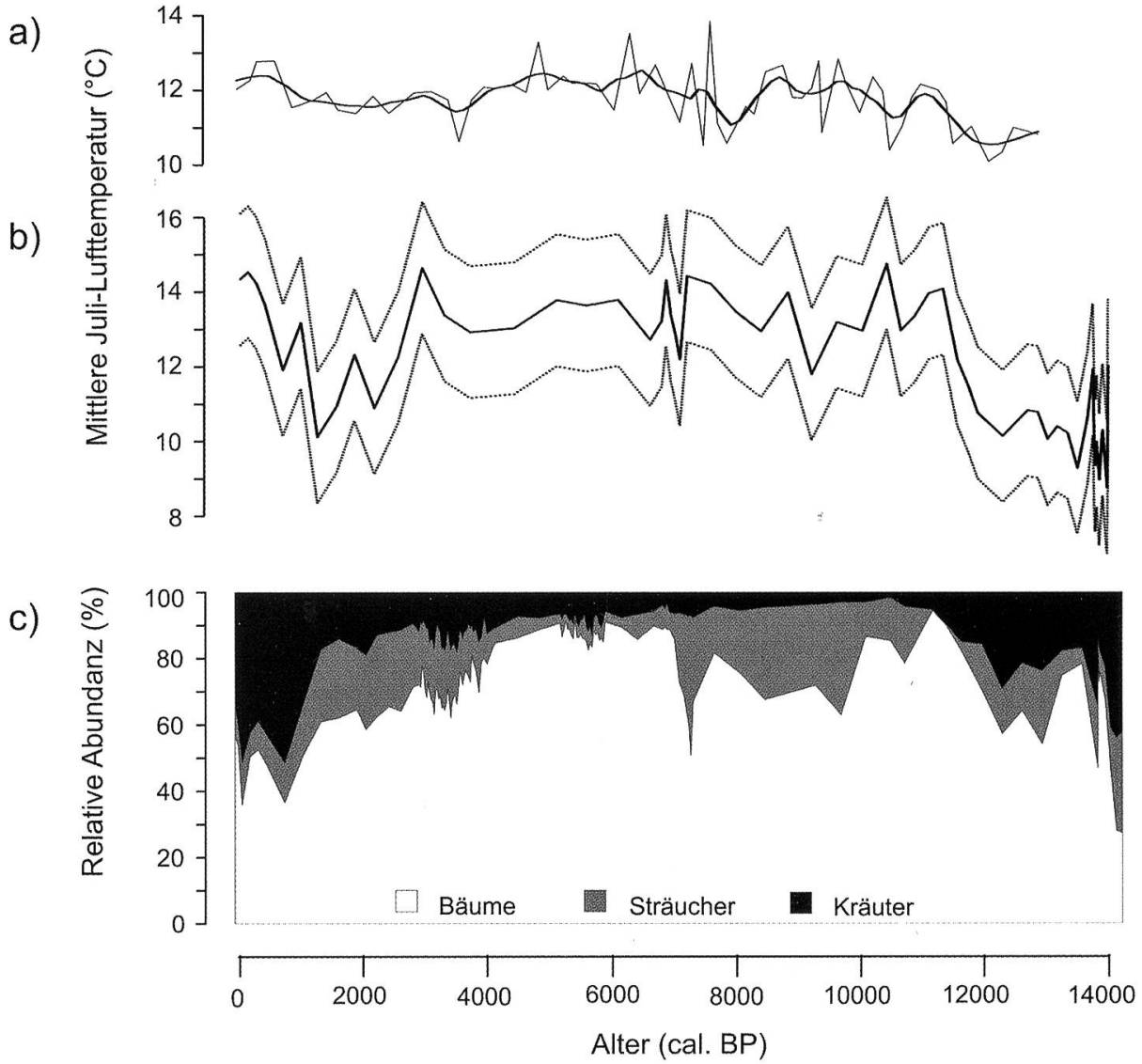

Abbildung 4: a) Mittlere Juli-Lufttemperaturen, rekonstruiert anhand von fossilen Chironomiden in den Sedimenten des Hinterburgsees (1515 m ü.M.; Heiri et al. 2003) im Vergleich mit b) der Chironomiden-basierten Temperaturrekonstruktion am Lauenensee und c) den Pollenprozenten von Bäumen, Sträuchern und Kräutern im Sediment des Lauenensees (Rey et al. 2013). Die graue Linie in a) repräsentiert ungeglättete, die schwarze geglättete Werte (Heiri et al. 2003). Die gepunkteten Linien in b) zeigen den Vorhersagefehler der Temperaturrekonstruktion *(estimated Standard Error of Prediction, eSEP)* an.

was auf einen starken Temperaturanstieg hinweist. Taxa wie *C. anthracinus-*, *P. penicillatus-* und *T. mendax*-Typ bevorzugen warme und nährstoffreiche Bedingungen (Brundin 1956). Ihre Dominanz deutet eine höhere Produktivität von organischem Material im See und dem Einzugsgebiet an.

Veränderungen in der Zusammensetzung von Pollen- und Pflanzenmakrorestgesellschaften in den Sedimenten des Lauenensees deuten auf einen Anstieg an menschlichem Einfluss im Einzugsgebiet ab 4300 kal. Jahren vor heute (Rey et al. 2013). Die verstärkte Erosion durch die Rodung des Waldes sowie der erhöhte

Eintrag von Dung durch das Weiden von Vieh im Einzugsgebiet könnten zu einer starken Zunahme an Nährstoffen im Lauenensee geführt haben. Zudem führte die Akkumulation von Sediment im Seebecken zu einer kontinuierlichen Abnahme der Wassertiefe (Guthruf-Seiler et al. 1999). Es ist zu vermuten, dass diese Faktoren besonders während den letzten 2600 Jahren einen starken Einfluss auf die Chironomidengesellschaft ausgeübt haben.

Temperaturrekonstruktion

Während des Allerøds (~14 000–12 700 kal. Jahre vor heute) wurden am Lauenensee mittlere Julitemperaturen zwischen 8,7 und 12,0 °C rekonstruiert. Diese Temperaturen liegen leicht unter den Werten, welche in anderen Chironomiden-basierten Temperaturrekonstruktionen der Zentral- und Südalpen rekonstruiert wurden (e.g. Samartin et al. 2012). Die Makrorestanalyse am Lauenensee weist darauf hin, dass die Vegetation um den Lauenensee während des Interstadials aus offener Strauchlandschaft bestand (Rey et al. 2013). Wälder können sich an der alpinen Waldgrenze erst ab Juli-Lufttemperaturen um 10 °C etablieren (Lang 1994), was darauf hindeutet, dass die Temperaturen am Lauenensee kühler waren als in den Süd- und Zentralalpen. Andererseits könnte der Lauenensee zu dieser Zeit auch unter dem Einfluss von Schmelzwasser aus höher gelegenen Gletschern gestanden haben. Die dadurch verursachten tieferen Wassertemperaturen könnten die Chironomidengesellschaften beeinflusst und so zu einer Unterschätzung der Lufttemperatur geführt haben.

Während der Jüngeren Dryas (~12 700–11 700 kal. Jahre vor heute) liegen die rekonstruierten Temperaturen am Lauenensee zwischen 10,2 und 10,7 °C. Wenn man den Vorhersagefehler von ~1,55–1,78 °C berücksichtigt, so liegen diese Temperaturen im Bereich anderer Chironomiden-basierter Temperaturrekonstruktionen. Am Hinterburgsee, der ebenfalls im Berner Oberland auf 1515 m ü.M. liegt, wurden beispielsweise Temperaturen von ~10,4–10,9 °C für diese Periode rekonstruiert *(Abb. 4 a),* Heiri et al. 2003). Korrigiert man diese Temperaturen mit einem Temperaturgradienten von 6 °C km^{-1} (Livingstone et al. 1999) auf die Höhe des Lauenensees, so würden die Temperaturen ~11,2–11,7 °C betragen.

Ein starker Temperaturanstieg um ~3,0 °C markiert den Beginn des Holozäns. Die rekonstruierten Temperaturen um 12,0–14,5 °C während des Früh- und Mittelholozäns stimmen gut mit den rekonstruierten Temperaturen am Hinterburgsee überein (11,9–12,8 °C; Heiri et al. 2003). Um 11 500 kal. Jahre vor heute weisen Makrorestanalysen der Seesedimente auf erste Bäume im Einzugsgebiet des Lauenensees hin (Rey et al. 2013). Dies deutet auf mittlere Julitemperaturen über 10 °C (Lang 1994), was gut mit den Temperaturen übereinstimmt, welche anhand der Chironomidendaten rekonstruiert worden sind.

Ab ca. 4300 kal. Jahre vor heute weist die Vegetationsrekonstruktion auf einen zunehmenden menschlichen Einfluss im Einzugsgebiet des Lauenensees hin (Rey et al. 2013). Es ist deshalb anzunehmen, dass die Chironomidengesellschaften ab diesem Zeitpunkt nicht mehr primär die Temperaturschwankungen widerspiegeln, sondern stark durch Änderungen im Nährstoff- und Sauerstoffhaushalt beeinflusst wurden. Temperaturen, welche anhand der Chironomiden in den Lauenenseesedimenten für das Spätholozän rekonstruiert worden sind, sollten daher nur mit Vorsicht interpretiert werden.

Schlussfolgerung

Diese Studie präsentiert ein neues Chironomidenprofil und eine Chironomidenbasierte Temperaturrekonstruktion aus dem westlichen Berner Oberland, welche Aussagen über Veränderungen in der Umwelt- und Klimageschichte der letzten 14 000 Jahre zulassen. Sowohl die starken Temperaturschwankungen des Spätglazials wie auch die stabileren Klimaverhältnisse des Holozäns konnten in Übereinstimmung mit anderen paläoklimatischen Rekonstruktionen bestätigt werden. Auch eine Rekonstruktion der Baumgrenze durch Pflanzenmakrofossilien, welche für dieselbe Lokalität erarbeitet wurde (Rey et al. 2013), unterstützt die am Lauenensee rekonstruierten Temperaturverläufe. Ab 4 300 kal. Jahre vor heute ist aufgrund der Pollenanalyse und der Veränderungen in den Chironomidengesellschaften ein starker menschlicher Einfluss zu vermuten, welcher die Qualität der Temperaturrekonstruktion möglicherweise beeinträchtigt hat.

Literatur

Brooks S, Langdon PG, Heiri O (2007) The identification and use of palaearctic chironomidae larvae in palaeoecology. QRA Technical Guide No. 10. Quaternary Research Association, London.

Brundin L (1956) Die bodenfaunistischen Seetypen und ihre Anwendbarkeit auf die Südhalbkugel. Zugleich eine Theorie der produktionsbiologischen Bedeutung der glazialen Erosion. Rep. Inst. Freshwat. Res. 37: 186–235.

Guthruf-Seiler J, Guthruf-Seiler K, Zeh M (1999) Kleinseen im Kanton Bern. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Bern.

Heiri O, Lotter A (2003) 9000 years of chironomid assemblage dynamics in an Alpine lake: long-term trends, sensitivity to disturbance, and resilience of the fauna. J. Paleolimnol. 30: 273–289.

Heiri O, Lotter A, Hausmann S, Kienast F (2003) A chironomid-based Holocene summer air temperature reconstruction from the Swiss Alps. Holocene 13: 477–484.

Heiri O, Brooks SJ, Birks HJB, Lotter A (2011) A 274-lake calibration data-set and inference model for chironomid-based summer air temperature reconstruction in Europe. Quat. Sci. Rev. 30: 3445–3456.

Ilyashuk EA, Koinig KA, Heiri O, Ilyashuk BP, Psenner R (2011) Holocene temperature variations at a high-altitude site in the Eastern Alps: a chironomid record from Schwarzsee ob Sölden, Austria. Quat. Sci. Rev. 30: 176–191.

Lang G (1994) Quartäre Vegetationsgeschichte Europas: Methoden und Ergebnisse. Fischer, Jena

Laroque-Tobler I, Heiri O, Wehrli M (2010) Late Glacial and Holocene temperature changes at Egelsee, Switzerland, reconstructed using subfossil chironomids. J. Paleolimnol. 43: 649–666.

Livingstone D, Lotter A, Walker IR (1999) The decrease in summer surface water temperature with altitude in Swiss Alpine lakes: A comparison with air temperature lapse rates. Arct. Antarct. Alp. Res. 31: 341–352.

Millet L, Arnaud F, Heiri O, Magny M, Verneaux V, Desmet M (2009) Late-Holocene summer temperature reconstruction from chironomid assemblages of Lake Anterne, northern French Alps. Holocene 19: 317–328.

Rey F, Schwörer C, Gobet E, Colombaroli D, van Leeuwen J.F.N., Tinner W et al. (2013) Die Vegetationsgeschichte am Lauenensee der letzten 14 000 Jahre. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern, Neue Folge Band 70, Seiten 95–105.

Samartin S, Heiri O, Vescovi E, Brooks SJ, Tinner W (2012) Lateglacial and early Holocene summer temperatures in the southern Swiss Alps reconstructed using fossil chironomids. J. Quat. Sci. 27: 279–289.

ter Braak C, Juggins S (1993) Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): an improved method for reconstructing environmental variables from species assemblages. Hydrobiologia 269: 485–502.

Velle G, Brodersen KP, Birks HJB, Willassen E (2010) Midges as quantitative temperature indicator species: Lessons for palaeoecology. Holocene 20: 989–1002.

Walker IR (1987) Chironomidae (Diptera) in paleolimnology. Quat. Sci. Rev. 6: 29–40.

Wiederholm T (1983) Chironomidae of the Holarctic region: Keys and diagnoses. Part 1. Larvae. Ent. scand. Suppl. 19: 1–457.