Die Vegetationsgeschichte der letzten 14000 Jahre am Lauenensee

Autor(en): **Rey, Fabian / Schwörer, Christoph / Gobet, Erika**

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-389801

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

Fabian Rey[1], Christoph Schwörer[1], Erika Gobet[1], Daniele Colombaroli[1], Jacqueline FN van Leeuwen[1], Willy Tinner[1], Silke Schleiss[1]

Die Vegetationsgeschichte der letzten 14 000 Jahre am Lauenensee

Zusammenfassung

Sedimente des Lauenensees (Berner Oberland, 1381 m ü.M.) wurden untersucht, um mittels Pollen-, Pflanzenrest- und Holzkohleanalyse die regionale Vegetations- und Feuergeschichte zu rekonstruieren. Die Chronologie basiert auf elf kalibrierten Radiokarbondaten von terrestrischen Pflanzenresten und ergab ein Basisalter von 14 200 kal. Jahren vor heute (12 250 v. Chr.). Während des Bölling-Alleröd Interstadials war das Einzugsgebiet des Lauenensees noch nicht bewaldet. Somit lag die Waldgrenze in den Nordalpen tiefer als in den Zentral- und Südalpen. Die Wiederbewaldung startete nach der Jüngeren Dryas vor 11 600 kal. Jahren (9650 v. Chr.). Diese frühen Birken- und Föhrenwälder (Betula *und* Pinus sylvestris) *wurden vor rund 7500 kal. Jahren (5550 v. Chr.) durch Weisstannenwälder* (Abies alba) *ersetzt. Der erste menschliche Einfluss ist ab dem späten Neolithikum belegt (5700 bis 5200 kal. Jahre vor heute, 3750–3250 v. Chr.). Mit zwei hochaufgelösten Sequenzen wurde die Ausbreitung der Fichte* (Picea abies) *im Neolithikum (5700 bis 5200 kal. Jahre vor heute, 3750–3250 v. Chr.) und der Kollaps der Weisstanne in der Bronzezeit (4100 bis 2900 kal. Jahre vor heute, 2150–950 v. Chr.) untersucht. Die Resultate der Kreuzkorrelationen zeigen, dass die Ausbreitung der Grünerle* (Alnus viridis) *sowie der Wechsel von Weisstannen- zu Fichtenwäldern durch den Menschen ausgelöst wurde. Die Weisstanne reagiert nachweislich sehr sensibel auf Beweidung und Feuer, weshalb sich die heutige Fichtendominanz im oberen montanen und subalpinen Vegetationsgürtel aus der menschlichen Nutzung über die Jahrtausende ergeben haben muss.*

Einführung

Die Gebirgsvegetation ist einerseits aufgrund der grossen Höhenunterschiede stark vom Klima abhängig, andererseits ist sie jedoch auch geprägt durch langandauernde menschliche Landnutzung (z.B. Tinner et al., 1996; Gobet et al., 2003). Um Prognosen zur zukünftigen Vegetationsentwicklung zu machen, ist es deshalb essenziell, die Einflüsse des Klimas und des Menschen abzuschätzen und auseinanderzuhalten.

[1] Institut für Pflanzenwissenschaften und Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern, Altenbergrain 21, 3013 Bern, Schweiz. Korrespondenz: faeburey@hotmail.com

Paläoökologische Studien in den Alpen haben eine lange Tradition (Welten, 1952, 1982a, 1982b, Tinner et al., 1996 und Referenzen darin), jedoch sind nur wenige Studien über die montan-subalpine Übergangszone (1100–1500 m ü.M.) in den Nordalpen bekannt, welche das Bölling-Alleröd Interstadial, die Jüngere Dryas und das Holozän abdecken (Welten, 1952, 1982a, 1982b; Küttel, 1979). Diese Studien sind aber bereits älteren Datums und weisen deshalb eine mangelhafte oder gar keine Radiokarbonchronologie auf.

Die Ausbreitung der Fichte und der Grünerle in der zweiten Hälfte des Holozäns ist seit längerer Zeit belegt (Welten, 1952, 1982a). Dass die heutige Fichtendominanz eine Konsequenz menschlicher Landnutzung ist, wurde bisher nur vermutet (Markgraf, 1970), jedoch alpenweit noch nie durch eine hochaufgelöste, kontinuierliche, quantitative Zeitreihenanalyse belegt.

In dieser Studie präsentieren wir mit dem Lauenensee (1381 m ü.M.) eine neue, gut datierte Rekonstruktion der Flora im montan-subalpinen Vegetationsgürtel, welche die letzten 14 200 Jahre abdeckt. Unsere Zeitreihen beinhalten die ersten zwei lückenlos und hochaufgelösten Pollen-, Sporen-, Holzkohle- und Makrofossiliensequenzen der Nordalpen (detailliertere Darstellung der Resultate in Rey, 2012). Die erste Zeitreihe deckt Teile des Neolithikums ab (Massenausbreitung der Fichte: 5700–5200 kal. Jahre vor heute, 3750–3250 v. Chr.), während die zweite auf die Bronzezeit fokussiert (Massenausbreitung der Grünerle und Kollaps der Weisstanne: 4100–2900 kal. Jahre vor heute, 2150–950 v. Chr.). Wir verwenden Kreuzkorrelationen, um die Auswirkungen des Feuers auf ausgewählte Taxa zu untersuchen.

Die Ziele dieser Studie waren: Die Rekonstruktion der Wiederbewaldung nach der letzten Eiszeit sowie die Darlegung der Ursachen für die Ausbreitung von Fichte und Grünerle und den damit verbundenen Rückgang der Weisstanne. Besonders berücksichtigt werden dabei direkte Zeiger menschlicher Landnutzung (Getreidepollen, Pollen von Ackerunkräutern und Dungsporen).

Abbildung 1.
Bohrung am Lauenensee im Mai 2011 (Foto: Fabian Rey).

Untersuchungsgebiet

Der Lauenensee (Berndeutsch: Louwenensee, von «Louwene» = Lawine) ist ein kleiner See in den Berner Alpen und liegt knapp drei Kilometer vom Dorf Lauenen entfernt auf 1381 m ü.M. Der einst grössere See ist heute infolge Verlandung in zwei Becken, mit einer Gesamtfläche von 8,78 ha aufgeteilt, die Maximaltiefe beträgt 3,5 Meter (Guthruf et al., 1999). In der vorliegenden Studie wurde Seesediment des grösseren Beckens untersucht. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 4,9 °C und der Jahresniederschlag 1535 mm (Daten: DAYMET Modell, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL). Der See liegt zwischen dem montanen und dem subalpinen Vegetationsgürtel, Fichtenwälder *(Picea abies)* sind dominant. Andere Bäume wie die Grauerle *(Alnus incana)*, der Bergahorn *(Acer pseudoplatanus)* und die Moorbirke *(Betula pubescens)* sind selten aber lokal vorhanden. Die nichtbewaldeten Flächen werden hauptsächlich als Alpweiden genutzt.

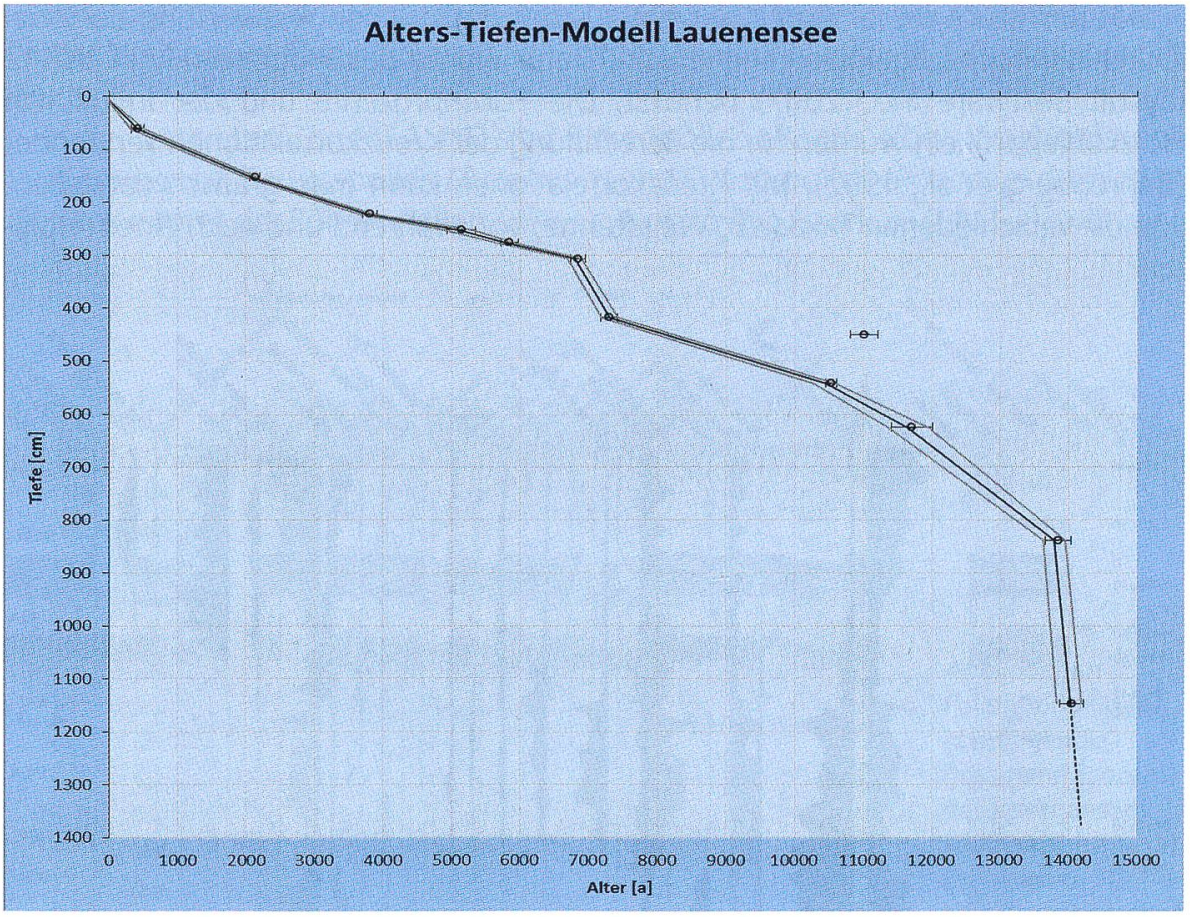


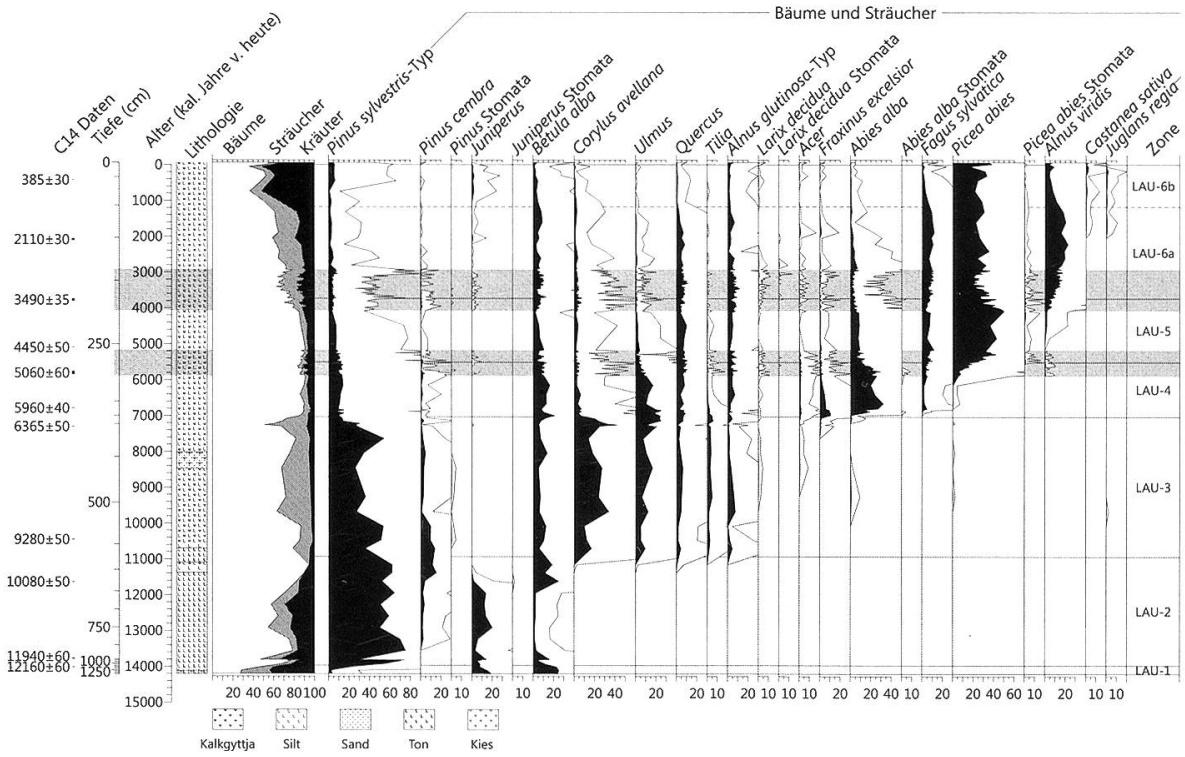
Abbildung 2: Alters-Tiefen-Modell des Lauenensees. Die Kreise zeigen die kalibrierten Alter der terrestrischen Pflanzenresten. Die schwarze Kurve ist das berechnete Modell mit einem 2σ Konfidenzintervall (graue Linien) *(clam,* Blauuw, 2010).

Methoden

Im Mai 2011 wurden mit einem modifizierten Streif-Livingstone-Bohrer auf einer Flossplattform zwei Sedimentkerne an der tiefsten Stelle des Sees bis auf die Grundmoräne entnommen *(Abb. 1)*. Im Labor wurden diese zwei Kerne (Länge: 1400 cm und 1450 cm) zu einem Hauptkern von 1385 cm Länge zusammengeführt.

Das Alters-Tiefenmodell basiert auf elf Radiokarbondaten von terrestrischen Pflanzenresten *(Abb. 2)*. Die Radiokarbondaten wurden mit dem Programm CALIB 6.1.0 (Stuiver & Reimer, 1993) in kalibrierte Daten umgewandelt und für das Alters-Tiefenmodell verwendet (Blauuw, 2010). Für die Pollen- und die Holzkohlenanalyse wurden dem Sedimentkern 126 Proben entnommen. Diese wurden im Labor nach Standardmethoden bearbeitet (z.B. Moore et al., 1991). Zwei besonders interessante Sequenzen aus dem späten Neolithikum (Massenausbreitung der Fichte) und der Bronzezeit (Massenausbreitung der Grünerle und Kollaps der Weisstanne) wurden hochaufgelöst und lückenlos beprobt. Dies sind zum einen 25 Proben zwischen 278 und 254 cm und zum anderen 45 Proben zwischen 230 und 186 cm. Pollen und Sporen wurden mit Hilfe von Bestimmungsschlüsseln identifiziert (z.B. Moore et al., 1991).

Das Kernstück dieser Arbeit besteht aus der statistischen Auswertung der zwei lückenlos, hochaufgelösten Sequenzen. Dafür wurde das Programm MYSTAT 12 (Systat Software Inc., 2007) benutzt. Die Pollenprozente und der Influx von Holzkohlepartikeln wurden für die Berechnung der Kreuzkorrelationen verwendet (Bahrenberg et al., 1992). Mit Kreuzkorrelationen kann man grafisch darstellen, wie die verschiedenen Taxa (z.B. Weisstanne) vor, während und nach einem Holz-



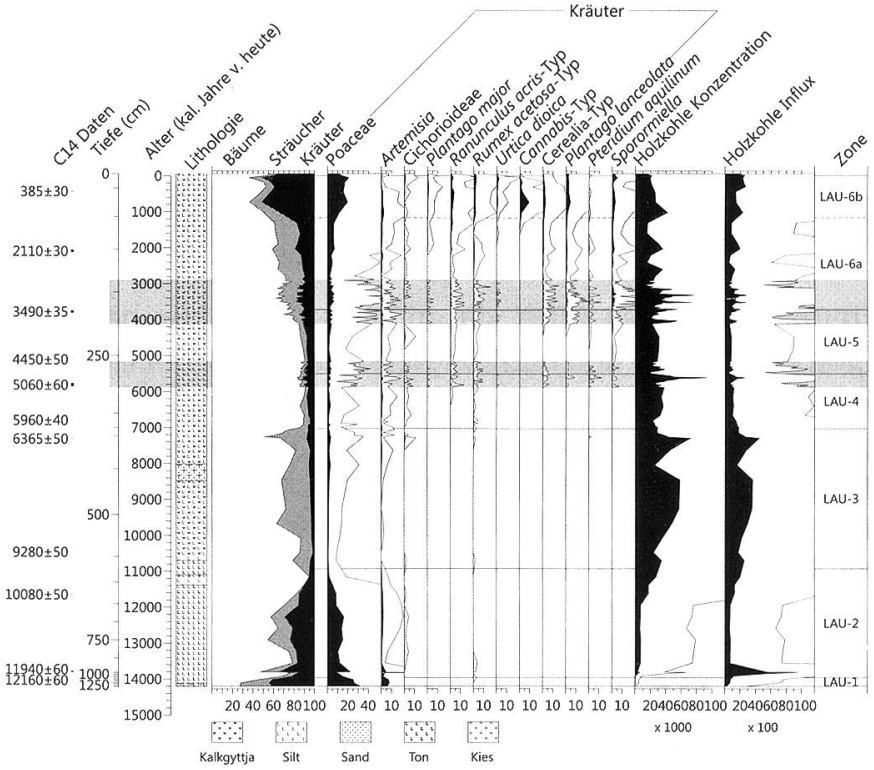
kohlemaximum reagieren. Der Zeitschritt 0 entspricht dabei dem Zeitpunkt des Holzkohlemaximums. Da lückenlos beprobt wurde, entspricht jeder Zeitschritt einer Probe, d.h. 30±0,8 Jahre (nach Alters-Tiefen-Modell) für die erste hochaufgelöste Serie (Neolithikum: 5700–5200 kal. Jahre vor heute, 3750–3250 v. Chr.), respektive 28±8,3 Jahre für die zweite hochaufgelöste Serie (Bronzezeit: 4100–2900 kal. Jahre vor heute, 2150–950 v. Chr.). Eine positive Korrelation bedeutet, dass während oder nach einer Zunahme der Holzkohle auch eine Zunahme des jeweiligen Pollens erfolgt, während eine negative Korrelation dementsprechend einer Abnahme des Pollens entspricht.

Resultate

Das Alters-Tiefen-Modell *(Abb. 2)* zeigt eher tiefe Sedimentationsraten während des Holozäns und hohe Sedimentationsraten im tiefsten Teil des Sedimentkerns. Die älteste Datierung stammt aus 1146 cm Tiefe (14 025 kal. Jahre vor heute, 12 075 v. Chr.), weshalb für die Kernbasis ein Alter von 14 200 kal. Jahren (12 250 v. Chr.) extrapoliert werden konnte.

Das Pollendiagramm *(Abb. 3)* ist in sechs statistisch signifikante Zonen aufgeteilt, wobei die sechste Zone zur besseren Unterscheidung in zwei Subzonen geteilt wurde.

In der untersten Zone (LAU-1) sind Birkenpollen *(Betula alba)*, Wacholderpollen *(Juniperus)*, Beifusspollen *(Artemisia)* und Gräserpollen *(Poaceae)* dominant. Danach nimmt der Föhrenpollen *(Pinus sylvestris*-Typ) stark zu (LAU-2), während



Abbildungen 3: Pollen- und Spaltöffnungendiagramm (in Prozent) des Lauenensees (ausgewählte Taxa). Die weissen Flächen sind die zehnfachen Überhöhungen (Analyse: Fabian Rey).

die in LAU-1 dominanten Taxa immer noch vorkommen. Im obersten Bereich der Zone sind zudem Föhren-Spaltöffnungen belegt (Spaltöffnungen sind neben Makroresten wie Nadeln Zeiger für lokales Vorhandensein einer Baumart). In der dritten Zone (LAU-3) kommt neben Föhrenpollen vermehrt auch Haselpollen *(Corylus avellana),* Ulmenpollen *(Ulmus)* und weiterhin Birkenpollen vor. Die Werte des Kräuterpollens sinken unter 10%. In LAU-4 zeigen die Prozente des Weisstannenpollens *(Abies alba)* ein Maximum. Gleichzeitig sind auch Weisstannen-Spaltöffnungen belegt (ab 7000 kal. Jahre vor heute, 5050 v. Chr.). Der Ulmen- und Birkenpollen zeigt nach wie vor konstante Werte. Zudem kommt neu auch Buchenpollen *(Fagus sylvatica)* vor (ab ca. 7000 kal. Jahre vor heute, 5050 v. Chr.). Vor rund 5600 kal. Jahren (3650 v. Chr.; Spätneolithikum, erste hochaufgelöste Sequenz) nimmt der Ulmen- und Weisstannenpollen markant ab, während der Fichtenpollenanteil *(Picea abies)* rapide zunimmt. Dieser Wechsel ist auch bei den Spaltöffnungen ersichtlich. Gleichzeitig kommen neu auch menschliche Zeiger wie Getreidepollen *(Cerealia*-Typ), Spitzwegerichpollen *(Plantago lanceolata)* und Dungsporen *(Sporormiella)* hinzu. Die Holzkohlewerte nehmen zum ersten Mal seit dem Frühholozän wieder markant zu. Die menschlichen Zeiger deuten dabei einen ähnlichen Kurvenverlauf an wie die Holzkohlewerte. In der nächsten Zone (LAU-5) ist der Fichtenpollen am häufigsten, während sich der Weisstannenpollen bei knapp 10% halten kann. Im obersten Bereich der Zone (Bronzezeit, zweite hochaufgelöste Sequenz) nimmt der Grünerlenpollen *(Alnus viridis)* stetig zu. Auch die Holzkohlenwerte bleiben generell erhöht. In LAU-6a schliesslich ist der Fichtenpollen wieder weniger dominant, jedoch immer noch sehr häufig. Die Prozentwerte des Weisstannenpollens nehmen nun nochmals markant ab. Zur gleichen Zeit nehmen Weidezeiger wie Hahnenfusspollen *(Ranunculus acris*-Typ) und Sauerampferpollen *(Rumex acetosa*-Typ) zu, Getreidepollen und Pollen von Ackerunkräutern (Spitzwegerich) sind ebenfalls konstant vorhanden. Die Fichten-Spaltöffnungen sind weniger häufig. In der abschliessenden Subzone (LAU-6b) nimmt der Kräuterpollen stark zu und erreicht Werte bis gegen 50%, zudem erreichen Zeiger menschlicher Nutzung ein Maximum, nehmen aber in den letzten 200 Jahren wieder ab.

Die Resultate der Kreuzkorrelationen *(Abb. 4a, b)* zeigen, dass der häufigste Baumpollen wie etwa von Weisstanne und Fichte signifikant negativ mit Holzkohlepartikeln korreliert. Für den Weisstannenpollen gilt das sowohl für das Spätneolithikum wie auch für die Bronzezeit. Kräuterpollen, Getreidepollen und Weidezeiger sind dagegen signifikant positiv korreliert. Der Sträucherpollenanteil, wie z.B. die Grünerle, zeigt ebenfalls eine signifikant positive Korrelation. Diese ist jedoch oftmals um zwei bis drei Zeitschritte verzögert.

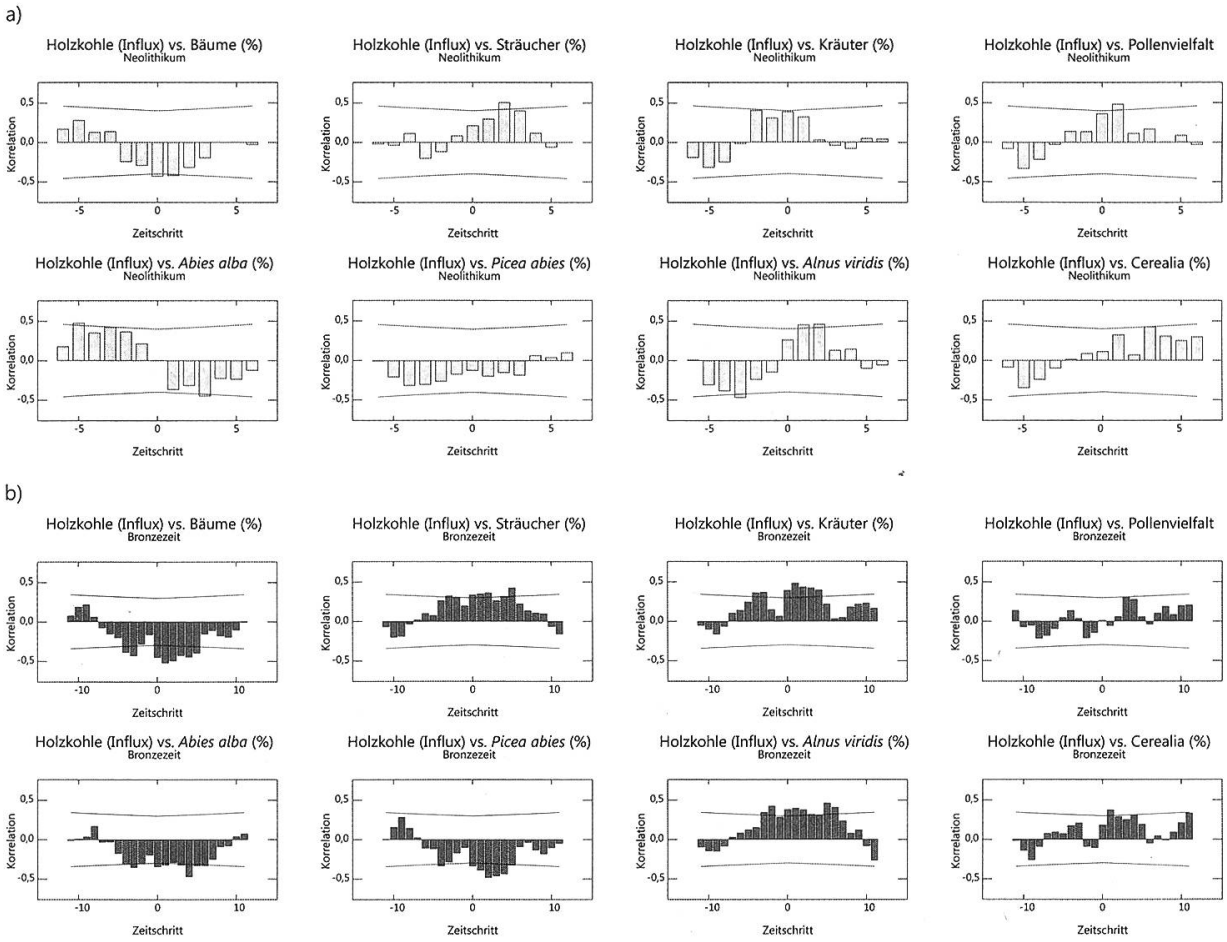


Abbildung 4: Ausgewählte Kreuzkorrelationen für a) das Spätneolithikum (5700–5200 kal. Jahre vor heute, 3750–3250 v. Chr.; ein Zeitschritt = 30 Jahre) und für b) die Bronzezeit (4100–2900 kal. Jahre vor heute, 2150–950 v. Chr.; ein Zeitschritt = 28 Jahre). Die Signifikanzgrenze ist als schwarze Linie markiert.

Interpretation und Diskussion

Die frühe Vegetationsgeschichte 14 200–6000 kal. Jahre vor heute (12 250–4050 v. Chr.)

Ein Alter von 14 200 kal. Jahren (12 250 v. Chr.) konnte für das älteste Seesediment des Lauenensees extrapoliert werden. Ein Alter vor oder um 14 700 kal. Jahren (12 750 v. Chr.) kann ausgeschlossen werden, da das markante Wachholder-Maximum fehlt, welches typisch für den Beginn des Böllings ist (Lotter, 1999). Fehlende Spaltöffnungen und Makroreste von Bäumen weisen zudem auf eine unbewaldete Landschaft hin. Dies wird auch durch den hohen Anteil des Sträucher- und Kräuterpollens unterstützt (siehe *Abb. 2).* Jedoch wurden 25 km weiter entfernt, in Chutti bei Boltigen auf 925 m ü.M. sowie im Regenmoos auf 1260 m ü.M., Föhren-Spaltöffnungen gefunden (Welten, 1982b), was auf eine Baumgrenze zwischen 1260 und 1380 m ü.M. schliessen lässt. Somit lag die Baumgrenze in den Nordalpen bedeutend tiefer als etwa in den Zentralalpen oder

in den Südalpen, wo sie Höhen von 1700–1900 m erreichte (Welten, 1982b; Vescovi et al., 2007). Ein Grund für diese Diskrepanz könnten die verbleibenden Eismassen in Nordeuropa sein, welche das Klima der Nordalpen beeinflusst haben (Samartin et al., 2012).

Während der Kältephase der Jüngeren Dryas (12 800–11 600 kal. Jahre vor heute, 10 850–9650 v. Chr.) wurde der Lauenensee nicht mehr von vorstossenden Gletschern erreicht. Die Endmoränen liegen auf 1823 m. ü.M. bei Kühtungel, rund 1,5 km entfernt (Küttel, 1979). Gleichzeitig ist von einer Absenkung der Waldgrenze auszugehen, da die Prozente der Kräuterpollen und der Wacholderpollen wieder zunehmen und es sogar im Schweizer Mittelland eine leichte Öffnung der Wälder gab (Ammann et al., 2007).

Die Wiederbewaldung am Lauenensee startete direkt nach der Jüngeren Dryas, vor rund 11 600 kal. Jahren (9650 v. Chr.) mit Birken und Föhren. Dieser Wechsel ist auch in der Abnahme der Sedimentationsrate und der Veränderung der Seesedimente von (eingeschwemmten) Silt zu einer siltigen Kalkgyttja (Seekreide) ersichtlich, was auf eine Stabilisierung des Untergrunds durch Bäume in unmittelbarer Nähe des Sees zurückzuführen ist.

Grosse Änderungen in der Vegetationszusammensetzung gab es um 11 100 kal. Jahre vor heute (9150 v. Chr.), als wahrscheinlich Hasel, Ulme und Erle sich im Einzugsgebiet ausbreiteten und einen Laubmischwald mit den vorhandenen Birken und Föhren bildeten. Auch heute noch wächst die Grauerle *(Alnus incana)* direkt am See, weshalb anzunehmen ist, dass sowohl die Ulme wie auch die Hasel ebenfalls anwesend waren, da diese vergleichbare obere Wachstumsgrenzen haben (Welten, 1952). Die hohen Holzkohlewerte zu dieser Zeit weisen auf eine erhöhte regionale Feueraktivität im Gebiet hin, was womöglich auf die warmen und trockenen Sommer aufgrund erhöhter Sonneneinstrahlung in der Nordhemisphäre zurückzuführen ist (Kutzbach & Webb, 1993).

Um 7500 kal. Jahre vor heute (5550 v. Chr.) breitete sich die Weisstanne aus. Dies ist womöglich auf einen Wechsel hin zu feuchterem Klima zurückzuführen, welcher auch an anderen Standorten dokumentiert ist (Heiri et al., 2003; Magny, 2004). Zusammen mit Ulme, Bergahorn, Erle und Esche bildete die Weisstanne einen Mischwald zwischen 7000–6000 kal. Jahre vor heute (5050–4050 v. Chr.).

Die Ausbreitung der Fichte und der Grünerle nach 6000 kal. Jahre vor heute (4050 v. Chr.) und die Rolle des Menschen

Die massive Ausbreitung der Fichte vor 5700–5000 kal. Jahren (3750–3050 v. Chr.) fällt ziemlich genau mit archäologischen Fundstücken aus der Gegend zusammen, welche auf rund 4900 Jahren (2950 v. Chr.) datiert wurden (Grosjean et al., 2007). Die erhöhte land- und weidewirtschaftliche Nutzung im Neolithikum beeinflusste v.a. die Weisstannenwälder stark, welche zuvor Jahrhunderte lang das Landschaftsbild in den westlichen Nordalpen prägten. Die hohe Sen-

sitivität der Weisstanne gegenüber Feuer und Beweidung ist durch statistisch signifikante, negative Korrelationen schon für das Neolithikum belegt *(Abb. 3a)*. Die hohe Störungsempfindlichkeit der Weisstanne wurde u.a. auch in anderen Studien aus den Alpen und dem Mittelmeergebiet belegt (Tinner et al., 1999; Colombaroli et al., 2007). Fichten-Spaltöffnungen und -nadeln traten erstmals 100–150 Jahre nach dem grössten Feuerereignis vor ca. 5600 kal. Jahren (3650 v. Chr.) auf (Rey, 2012). Die Ausbreitung der Fichte wurde somit durch menschliche Landnutzung unterstützt, da sie «störungstoleranter» als die Weisstanne zu sein scheint (geringere Anfälligkeit gegenüber Feuer und Verbiss). Jedoch diskutieren andere Studien in den Nordalpen eine frühere Ausbreitung der Fichte ohne menschlichen Einfluss (Heiri et al., 2003). Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Fichtenausbreitung durch eine Kombination mehrerer Faktoren gefördert wurde, zu welchen auch das Klima gehört: Grundsätzlich fällt der Rückgang der Weisstanne mit einer klimatischen Warmphase um ca. 5700–5400 kal. Jahre vor heute (3750–3450 v. Chr.) zusammen (Haas et al., 1998), was die Ausbreitung landwirtschaftlicher Aktivitäten auch in Bergregionen gefördert haben dürfte.

Danach nahm die menschliche Nutzung, wahrscheinlich als Folge kühleren Klimas wieder ab, worauf sich die Weisstannenstandorte wieder stabilisieren konnten (Haas et al., 1998). Da sie nun mit der Fichte konkurrenzieren musste, konnte sie sich aber nicht mehr in dem Masse ausbreiten wie zuvor.

Zum Beginn der Bronzezeit (vor 4300 kal. Jahren, 2350 v. Chr.) gab es wiederum eine klimatische Gunstphase. In Kombination mit technischen Innovationen führte dies zu einer intensivierten Landnutzung im Alpenraum (Gobet et al., 2003). Auch die zweite hochaufgelöste Sequenz zeigt eine erhöhte menschliche Nutzung und eine Öffnung der Landschaft an. Die Kreuzkorrelationen weisen darauf hin, dass der Kollaps der Weisstanne durch Feuer beeinflusst wurde (signifikant negative Korrelationen), welches wiederum direkt mit Landnutzung verknüpft ist (signifikant positive Korrelationen von Dungsporen und Getreidepollen). Störungsresistente Arten wie etwa die Grünerle wurden durch die erhöhte Feuerfrequenz gefördert. Dies stimmt mit den Resultaten anderer Studien im Alpenraum überein (z.B. Welten, 1982b; Tinner et al., 1996; Gobet et al., 2003). Im Gegensatz zum Spätneolithikum war nun auch die Fichte vom Feuer betroffen, jedoch konnte sie sich, im Gegensatz zur Weisstanne, immer wieder erholen, was wohl mit einer erhöhten Toleranz gegenüber Feuer und Beweidung zurückzuführen ist.

Während der Römerzeit (2000–1800 kal. Jahre vor heute, 50 v. Chr–150 n. Chr.) intensivierte sich die Landnutzung noch einmal. Die grössten Rodungen, welche zur Absenkung der Waldgrenze auf die heutige Höhe führten, fanden aber erst im Mittelalter, vor rund 800 kal. Jahren (1150 n. Chr.) statt (z.B. Tinner et al., 1996; Gobet et al., 2003). Die Wiederausbreitung des Waldes in den letzten 200 Jahren ist auf den gesetzlich festgelegten Schutz der Wälder zurückzuführen.

Schlussfolgerung

Die Wiederbewaldung durch Birken und Föhren am Lauenensee startete erst vor 11 600 kal. Jahren (9650 v. Chr.), nach der Jüngeren Dryas. Wegen einem Wechsel von trockenem zu etwas feuchterem Klima wurden die Birken- und Föhrenwälder mit wärmeliebenden Gehölzen vor 7000 kal. Jahren (5050 v. Chr.) durch Weisstannenmischwälder ersetzt. Der menschliche Einfluss nahm vor 5700 kal. Jahren (3750 v. Chr.) im Spätneolithikum markant zu (klimatische Warmphase). Als Folge von Brandrodungen und Viehwirtschaft (z.B. auch Waldweiden), wurden die Weisstannenmischwälder durch Fichtenwälder ersetzt und die Grünerle breitete sich langsam aus. Durch den nochmals erhöhten menschlichen Einfluss während der Bronzezeit (4100–2900 kal. Jahre vor heute, 2150–950 v. Chr.) verschwand die Weisstanne praktisch komplett. Unsere hochaufgelösten Zeitreihen zeigen zum ersten Mal quantitativ, dass die heute dominierenden Fichtenwälder im montanen und subalpinen Vegetationsgürtel aufgrund menschlicher Eingriffe entstanden. Unsere Resultate belegen, dass die Wälder in den Alpen schnell auf Klimaänderungen reagierten und durch die menschliche Nutzung über Jahrtausende geformt wurden. Daraus schliessen wir, dass die Klimaerwärmung sowie veränderte Landnutzung zu ausserordentlichen Veränderungen in der Artenzusammensetzung von Bergwäldern führen werden. Weitere hochaufgelöste Studien sind nötig, um unsere Resultate und Interpretationen besser räumlich abstützen zu können.

Referenzen

Ammann B, Birks HH, Walanus A and Wasylikowa K (2007) Late Glacial Multidisciplinary Studies. In: Elias SA (ed.) *Encyclopedia of Quaternary Science.* Amsterdam: Elsevier, 2475–2486.

Bahrenberg G, Giese E & Nipper J (1992) *Statistische Methoden in der Geographie: Band 2, Multivariate Statistik.* Stuttgart: Teubner.

Blaauw M (2010) Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology* 5(5): 512–518.

Colombaroli D, Marchetto A & Tinner W (2007) Long-term interactions between Mediterranean climate, vegetation and fire regime at Lago di Massaciuccoli (Tuscany, Italy). *Journal of Ecology* 95(4): 755–770.

Gobet E, Tinner W, Hochuli PA et al. (2003) Middle to Late Holocene vegetation history of the Upper Engadine (Swiss Alps): the role of man and fire. *Vegetation History and Archaeobotany* 12(3): 143–163.

Grosjean M, Suter PJ, Trachsel M et al. (2007) Ice-borne prehistoric finds in the Swiss Alps reflect Holocene glacier fluctuations. *Journal of Quaternary Science* 22(3): 203–207.

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

Haas JN, Richoz I, Tinner W et al. (1998) Synchronous Holocene climatic oscillations recorded on the Swiss Plateau and at timberline in the Alps. *The Holocene* 8: 301–309.

Heiri O, Wick L, van Leeuwen JFN et al. (2003) Holocene tree immigration and the chironomid fauna of a small Swiss subalpine lake (Hinterburgsee, 1515 m asl). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 189(1–2): 35–53.

Küttel M (1979) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte und zum Gletscherrückzug in den westlichen Schweizer Alpen. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft* 89: 9–62.

Kutzbach JE & Webb T (1993) Conceptual basis for understanding Late-Quaternary climates. In: Wright HE (ed.), *Global Climates Since the Last Glacial Maximum.* Minneapolis: University of Minnesota Press, 5–11.

Lotter AF (1999) Late-glacial and Holocene vegetation history and dynamics as shown by pollen and plant macrofossil analyses in annually laminated sediments from Soppensee, central Switzerland. *Vegetation History and Archaeobotany* 8(3): 165–84.

Magny M (2004) Holocene climate variability as reflected by mid-European lake-level fluctuations and its probable impact on prehistoric human settlements. *The record of Human/Climate interaction in Lake Sediments* 113(1): 65–79.

Markgraf V (1970) Palaeohistory of the spruce in Switzerland. *Nature* 228: 249–251.

Moore P, Webb J & Collinson M (1991) *Pollen Analysis.* Oxford: Blackwell Scientific Publications.

Rey F (2012) *Climatic and human impacts on mountain vegetation at Lauenensee (Bernese Alps, Switzerland) during the last 14000 years.* Master's thesis, University of Bern.

Samartin S, Heiri O, Vescovi E et al. (2012) Lateglacial and early Holocene summer temperatures in the southern Swiss Alps reconstructed using fossil chironomids. *Journal of Quaternary Science* 27(3): 279–289.

Stuiver M & Reimer P (1993) Extended C-14 data-base and revised CALIB 3.0 C-14 age calibration program. *Radiocarbon* 35: 215–230.

Systat Software Inc. (2007) Mystat 12, Statistical and Graphical Software, Chicago. http://www.systat.com/MystatProducts.aspx

Tinner W, Ammann B & Germann P (1996) Tree line Fluctuations Recorded for 12,500 Years by Soil Profiles, Pollen, and Plant Macrofossils in the Central Swiss Alps. *Arctic and Alpine Research* 28(2): 131–147.

Tinner W, Hubschmid P, Wehrli M et al. (1999) Long-Term Forest Fire Ecology and Dynamics in Southern Switzerland. *Journal of Ecology* 87(2): 273–289.

Vescovi E, Ravazzi C, Arpenti E et al. (2007) Interactions between climate and vegetation during the Lateglacial period as recorded by lake and mire sediment archives in Northern Italy and Southern Switzerland. *Quaternary Science Reviews* 26(11–12): 1650–1669.

Welten M (1952) *Über die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des Simmentals sowie die frühgeschichtliche und historische Wald- und Weiderodung auf Grund pollenanalytischer Untersuchungen.* Bern: Verlag Hans Huber.

Welten M (1982a) *Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Schweizerischen Nationalparks: Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark.* 16: 3–43.

Welten M (1982b) *Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen: Bern-Wallis.* Basel: Birkhäuser Verlag.