Dendrochronologie : Geschichte und Anwendungsbereiche

Autor(en): **Bolliger, Matthias**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **75 (2018)**

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-823108

Nutzungsbedingungen

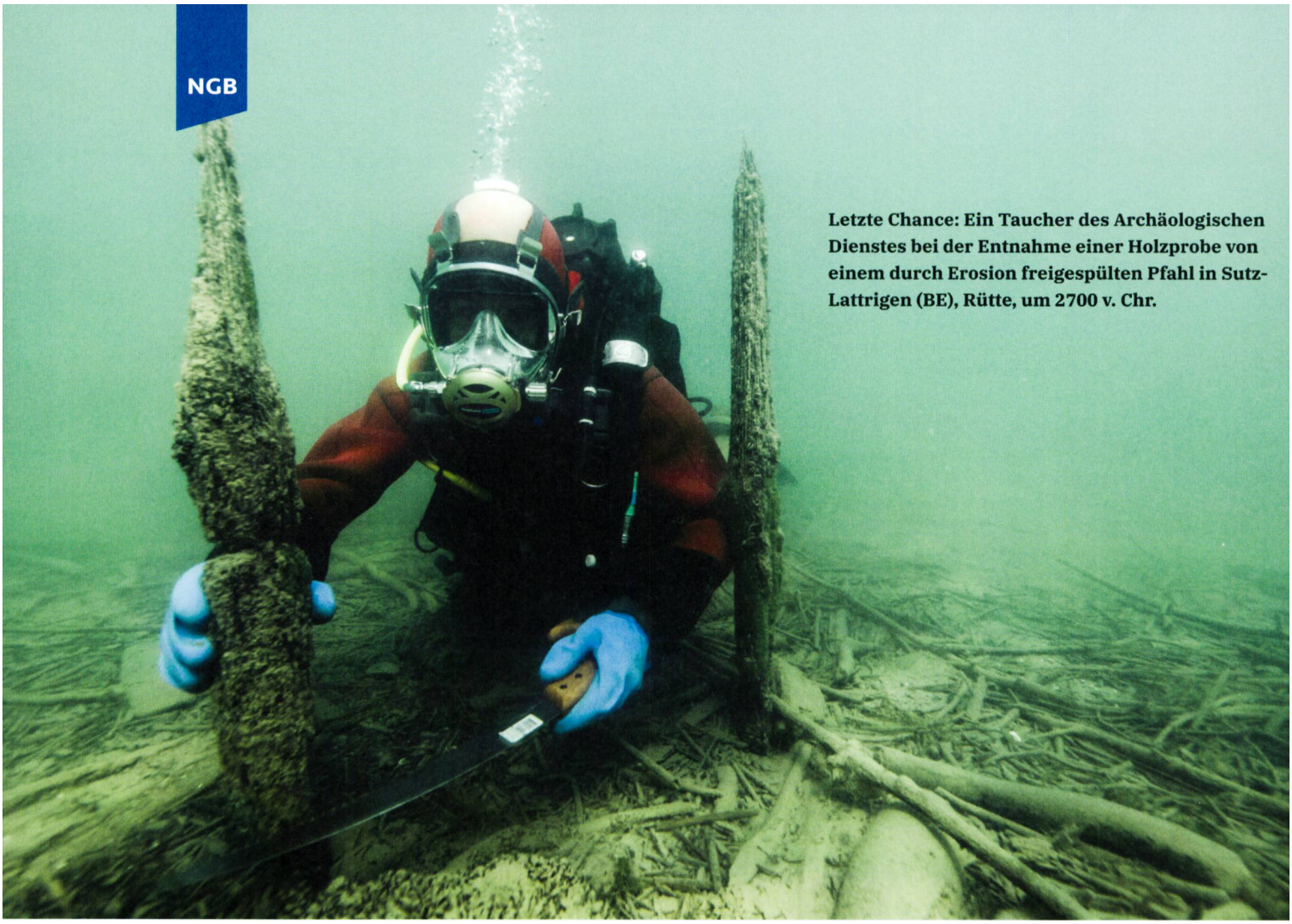
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung 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



Letzte Chance: Ein Taucher des Archäologischen Dienstes bei der Entnahme einer Holzprobe von einem durch Erosion freigespülten Pfahl in Sutz-Lattrigen (BE), Rütte, um 2700 v. Chr.

Dendrochronologie

Geschichte und Anwendungsbereiche

«Dieses Haus wurde im Jahre 1762 gebaut.
1762 VOR Christus!»

Mit Hilfe der Dendrochronologie konnten auf einen Schlag selbst bronze- oder jungsteinzeitliche Siedlungen Jahrgenau datiert werden. Keine andere Methode erlaubt solch eine genaue Aussage! Die Dendrochronologie und die mit ihr verwandten Methoden können aber noch mehr, viel mehr!

Die Dendrochronologie (griechisch *dendron* = Baum; *chronos* = Zeit; *logos* = Lehre) ist die genaueste aller Datierungsmethoden. Sie bildet die Basis für die Dendroarchäologie, Dendroökologie, Dendroklimatologie, Dendrogeomorphologie und die Dendrochemie – um nur die wichtigsten Fachbereiche zu nennen. Wieso ist diese Methode so genau, was ist ihr konkreter Nutzen in der Archäologie und weshalb war ihre Erfindung eigentlich eine archäologische Revolution, die mitunter archäologische Lehrdoktrinen in den Grundfesten erschütterte? Diese Fragen sollen im folgenden Beitrag beantwortet und mit einigen aktuellen Beispielen aus der Berner Archäologie illustriert werden.

Vom Jahrring zum Datum. Wie funktioniert die Dendrochronologie?

In unseren Breitengraden bildet jeder Baum pro Jahr einen Jahrring. Die Menge des jährlichen Zuwachses hängt vom Wetter und von den Standortbedingungen ab. In Jahren mit günstigen Bedingungen wird ein breiter Ring gebildet, bei schlechten ein schmaler. Die beiden wichtigsten Faktoren sind dabei Temperatur und Niederschlag. Diese Faktoren betreffen alle Bäume einer Region, zum Beispiel dem Mittelland, in ähnlichem Masse, so dass sich die Abfolgen der Jahrringe gleichen. Durch Überlappung mit Jahrringmustern von immer älteren Hölzern – zum Beispiel von historischen Gebäuden, römischen Schwellbalken, Pfahlbausiedlungen oder Hölzern aus Flusschottern oder Mooren – kann eine lückenlose Jahrringchronologie über die letzten Jahrtausende erstellt werden *(Abb. 1)*.

Autor

Matthias Bolliger

Sämtliche Abbildungen Archäologischer Dienst des Kt. Bern

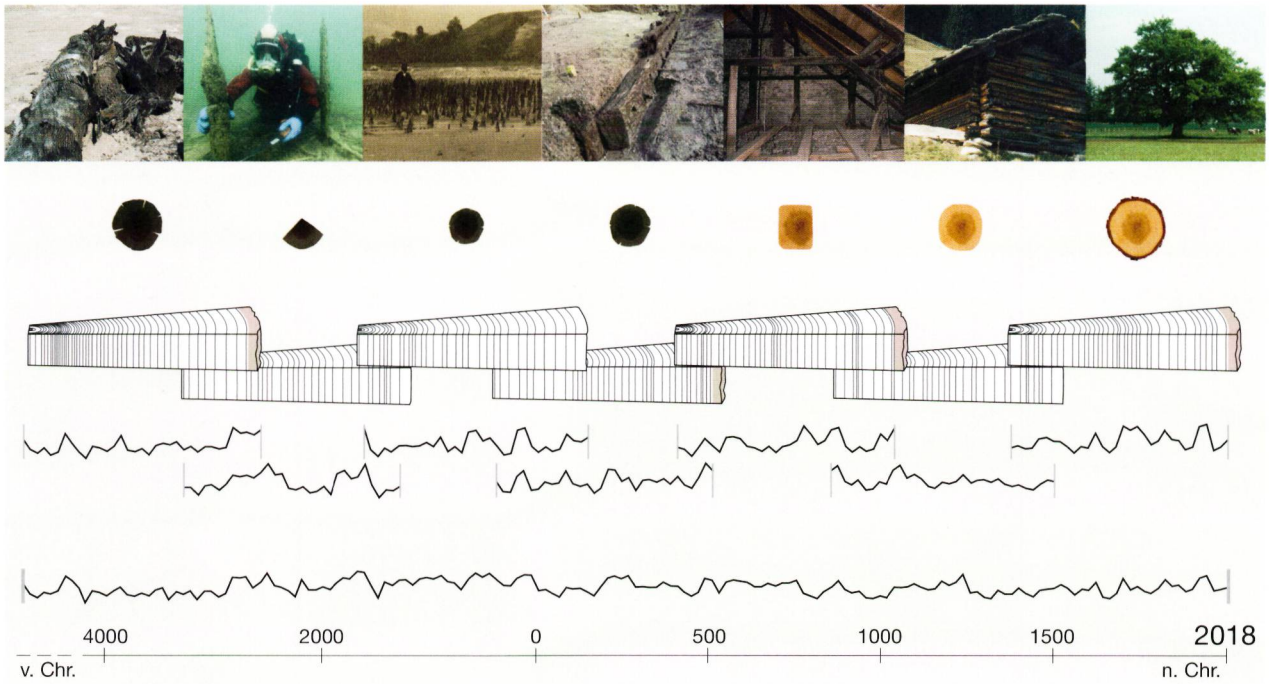


Abb. 1: Grundprinzip der Dendrochronologie. Durch die Überlappung der Jahrringmuster immer älterer Hölzer entsteht aus einzelnen Segmenten eine durchgängige Referenzchronologie. Die Jahrringbreiten werden für den visuellen Vergleich als sogenannte «Jahrringkurven» dargestellt.

Vor über 8000 Jahren in einem Moor abgelagert und bis heute perfekt erhalten. Massive Eichenstämme aus einer Baugrube in Lengnau (BE).

Findet man bei Ausgrabungen oder bei Bauuntersuchungen Hölzer, deren Alter Aufschluss über die Baugeschichte geben könnten, werden Proben entnommen. Anschliessend wird im Labor bei jeder Probe die Breite sämtlicher Jahrringe gemessen. Dies geschieht auf einem Messtisch mittels Binokular oder am Bildschirm durch Analyse von hochaufgelösten Bildern. Mithilfe computergestützter statistischer Methoden (t-Wert und Gleichläufigkeit) sowie visueller Überprüfung, wird auf den Referenzchronologien nach dem entsprechenden Jahrringmuster gesucht. Bei Deckungsgleichheit erhält man eine Datierung. Wenn der letzte vom Baum gebildete Ring noch erhalten ist, die so genannte «Waldkante» oder «Baumkante», lässt sich anhand deren Ausbildung gar die Jahreszeit des Fällens eruieren – beispielsweise Frühling 1762 v. Chr.

Alle Hölzer unserer Breitengrade, mit Zuwachs im Sommerhalbjahr und einer Ruhephase im Winter, lassen sich prinzipiell dendrochronologisch untersuchen. Da jede Holzart anders auf die äusseren Einflüsse reagiert, ist eine Verknüpfung untereinander, die so genannte «Heterokonnexion», oftmals nicht möglich. Dies führt zum Aufbau von separaten Chronologien. Makroskopisch lassen sich Nadel- und Laubhölzer auch bei kleinen Holzproben gut unterscheiden. Die Bestimmung nach Gattung oder Art erfolgt mittels Dünnschnitten unter dem Binokular. Nadelhölzer bilden mit den so genannten Tracheiden nur einen Zelltypus. Im Frühholz sind diese Zellen grösser, im Laufe des Sommers werden die Zellwände zur Stabilisierung des Stammes dicker und werden als dunkler Bereich des Jahrringes wahrgenommen *(Abb. 2, unten)*. Laubhölzer hingegen bilden zwei Arten von Zellen: Die grossporigen Tracheen für den Wassertransport und die stabilisierenden Tracheiden. Die Eiche oder die Esche bilden im Frühjahr grossporige Tracheen *(Abb. 2, oben)*, im Laufe des Sommers werden nur noch Tracheiden zur Stabilisie-

«Wenn der letzte vom Baum gebildete Ring noch erhalten ist, die so genannte ‹Waldkante› oder ‹Baumkante›, lässt sich anhand deren Ausbildung gar die Jahreszeit des Fällens eruieren.»

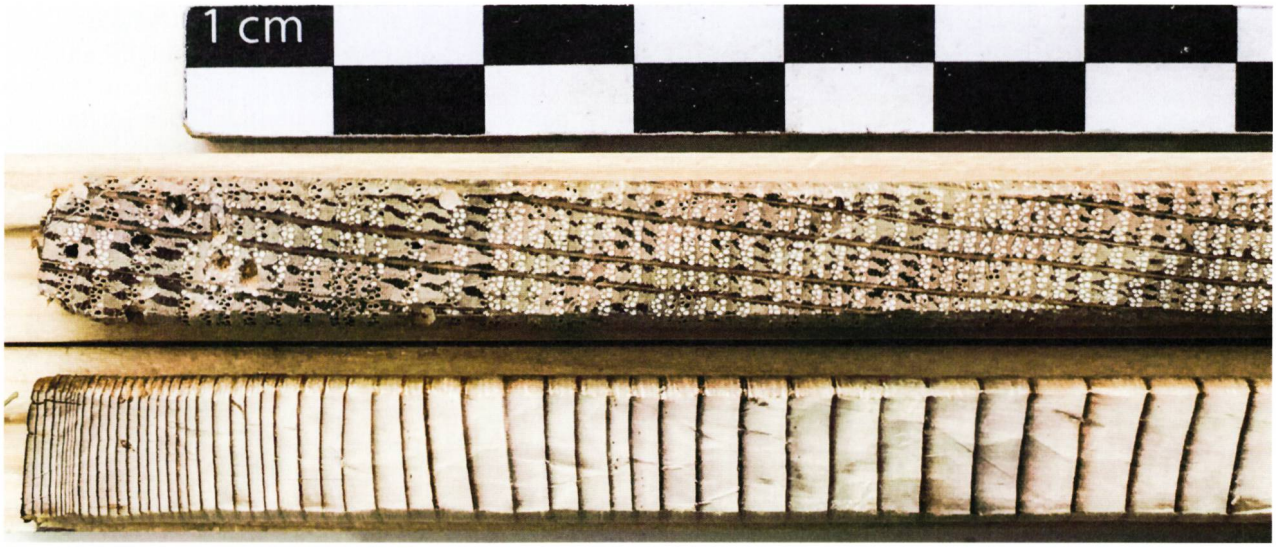


Abb. 2: Bohrkerne einer Eiche (oben, Fraubrunnen-Mülchi, geschlagen 1700 n. Chr.) und einer Fichte (unten, Adelboden, geschlagen 1631 n. Chr.). Die geschnittenen Oberflächen sind zur Verdeutlichung der Jahrringstruktur mit Kreide eingerieben. Beide Proben mit Waldkante links. Bei den radial verlaufenden Strukturen in der oberen Probe handelt es sich um so genannte Markstrahlen, die das Holz mit Wasser und Nährstoffen versorgen.

rung gebildet («ringporige Hölzer»). Die Jahrringgrenzen sind dadurch gut sichtbar. Bei zerstreutporigen Hölzern wie Birke oder Pappel hingegen sind beide Gefässarten über den ganzen Jahrring verteilt, so dass die Jahrringgrenzen schlechter erkennbar sind. Auskeilende oder stellenweise fehlende Jahrringe können die Analyse dieser Hölzer zusätzlich erschweren.

Der Vorteil der Dendrochronologie gegenüber der Radiokarbondatierung liegt in ihrer Genauigkeit. Während die Radiokarbondatierung jedoch an allen organischen oder an karbonatischen Stoffen und vor allem bis über 50000 Jahre in die Vergangenheit angewendet werden kann (siehe Beitrag Szidat und Stapfer, S. 20), müssen für eine erfolgreiche Dendrodatierung ungleich mehr Voraussetzungen erfüllt sein.

«Der Vorteil der Dendrochronologie gegenüber der Radiokarbondatierung liegt in ihrer Genauigkeit.»

Die Hölzer müssen gut erhalten sein, so dass die Jahrringe messbar sind. Dies bedingt insbesondere für prähistorische Hölzer eine Erhaltung im feuchten Untergrund oder in verkohlter Form. Trockenerhaltung ist in unserem Klima auf die historische Zeit begrenzt, zum Beispiel in Dachstühlen. Je mehr Jahrringe oder je mehr Hölzer derselben Baustruktur gemessen werden können, desto grösser wird die Wahrscheinlichkeit eines Datierungserfolges.

Erschwerend kommt hinzu, dass jeder Baum geprägt ist von individuellen Einflüssen (Schweingruber 2001). Zum einen ist der Konkurrenzdruck im Wald gross, und je nach Lage im Bestand wirkt sich die Verfügbarkeit von Licht auf die Leistung der Photosynthese aus und manifestiert sich in schmaleren Jahrringen. Andererseits beeinflusst die Beschaffenheit des Bodens die Nährstoffzufuhr, so dass insbesondere bei der wechselhaften Topographie der Schweiz die wachstumslimitierenden Faktoren kleinräumig ändern können. Auch infolge Verletzungen, seien es Schädigungen durch Sturm oder Insekten, wird die Wuchsleistung eines Individuums stark gestört. Und nicht zuletzt verändert der Mensch seine wichtigste Rohstoffquelle durch waldwirtschaftliche Aktivitäten. All dies manifestiert sich in den Jahrringabfolgen eines Baumes *(Abb. 3)*. Diese individuellen Einflüsse überlagern das gemeinsame, durch Temperatur und Niederschlag bestimmte Wettersignal und können eine Datierung erschweren.

Die Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche Datierung sind also eine gute Erhaltung, ausreichend Jahrringe, möglichst störungsfreies Wachstum, eine grössere Anzahl Hölzer pro Fundstelle sowie solide Referenzchronologien für die entsprechende Holzart. In den Bereichen der Dendroarchäologie und der Dendroökologie (inkl. Klimatologie) finden fast alle Holzar-

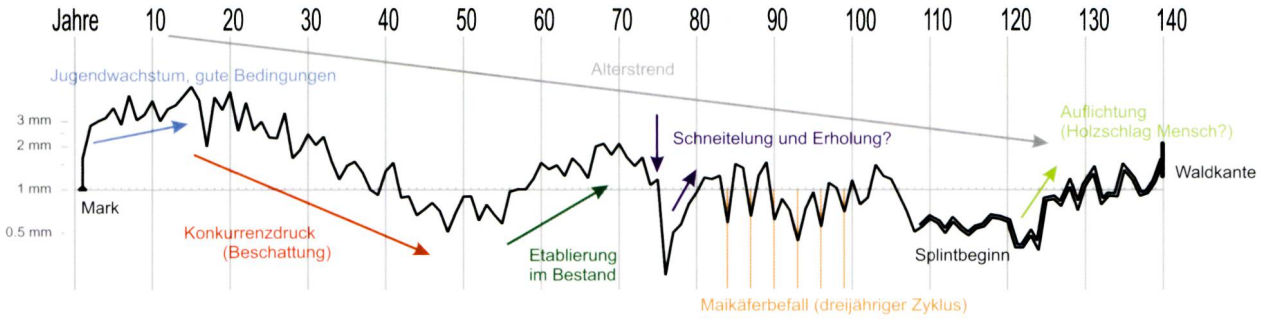


Abb. 3: Eine Auswahl möglicher Einflüsse auf die Jahrringkurve einer fiktiven, 140-jährigen Eiche. Mark: Innerster Ring des Stammes («Keimjahr»). Splint: äussere, physiologisch aktive Jahrringe von Hölzern. Bei einigen Holzarten, beispielsweise bei Eichen oder Kiefern, als heller Teil sichtbar. Alterstrend: Bei zunehmender Stammdicke werden die Jahrringe bei gleicher Zuwachsmenge schmaler.

Prähistorische Müllhalde. Ansammlung von Konstruktionshölzern – Pfähle, Bretter, Schindeln – in der Seeufersiedlung von Moosseedorf-Strandbad (BE). Die Hölzer datieren kurz vor 2800 v. Chr.

ten eine Anwendung. In der Dendroarchäologie speziell bevorzugt wird die Eiche, da sie über alle Zeiten hinweg als beliebtes Bauholz verwendet wurde und im Vergleich zu anderen Holzarten meist besser erhalten bleibt. In historischer Zeit wurden neben der Eiche auch häufiger Nadelhölzer verbaut, deshalb ist die Datenbasis für Nadelhölzer in diesem Zeitabschnitt ebenfalls sehr gut.

Geschichte der Methode

Bereits Leonardo da Vinci (1452–1519) wies in seinem Trattato della Pittura darauf hin, dass die Verfügbarkeit von Wasser einen grossen Einfluss auf die Jahrringbildung hat und dass die Breiten der Jahrringe die Wachstumsbedingungen (Trockenheit oder Nässe) eines Jahres widerspiegeln. Die wissenschaftlichen Grundlagen zu den Mechanismen der Jahrringbildung wurden im 18. und vor allem im 19. Jh. in Europa durch zahlreiche botanische Untersuchungen gelegt (Speer 2011).

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts bildete Andrew Ellicott Douglass, im Rahmen seiner Forschungen zu möglichen Einflüssen von Sonnenzyklen auf das Wetter im Südwesten der USA, gut belegte, regionale Mittelkurven. Durch die Überlappung von Jahrringsequenzen historischer Hölzer aus Pueblo-Siedlungen der indigenen Bevölkerung, gelang ihm der Aufbau einer Mittelkurve zurück bis ins 14. Jh. n. Chr. Ein grosser Block von älteren Fundstellen blieb jedoch noch undatiert, eine Anknüpfung dieser «schwimmenden Chronologie» an seine Mittelkurve gelang noch nicht. Zum ersten Mal konnte aber aufgrund der verschiedenen Fällzeitpunkte der Bauhölzer deren zeitliche Abfolge innerhalb einer archäologischen Fundstelle nachvollzogen werden. Auch wenn Douglass das exakte Alter der Hölzer (so genannte «absolute Datierungen») nicht kannte, war das zeitliche Verhältnis der Hölzer zueinander nun bekannt (so genannte «relative Datierungen») (Douglass 1921). Die Mittelkurven der verschiedenen Fundstellen überlappten sich, so dass auch Siedlungsabfolgen erkannt wurden. Für die Archäologie revolutionär war auch die dadurch mögliche, genaue Fixierung der Abfolge des entsprechenden Fundmaterials. Gezielte Beprobungen von Fundstellen anhand archäologischer Kriterien (man wusste durch die mittlerweile verfeinerte Typologie, dass man im Zeitraum der «Orangen Keramik» suchen musste) führten zum Ziel. Der verkohlte Balken mit dem Namen HH39 aus Show Low, Arizona, überbrückte die Lücke, und

auf einen Schlag waren im Jahre 1929 dutzende archäologische Siedlungen jahrgenau datiert (Haury 1962).

Diese Verknüpfung von Jahrringforschung und Archäologie fiel in Europa auf fruchtbaren Boden, insbesondere aufgrund der guten Quellenlage für archäologische Hölzer in den seit der Mitte des 19. Jahrhunderts bekannten Pfahlbaufundstellen. Ende der 1930er-Jahre führte der deutsche Forstbotaniker Bruno Huber erste dendrochronologische Untersuchungen am Dümmer See in Niedersachsen (Rump 2018) sowie an den Palisaden der bronzezeitlichen Siedlung «Wasserburg Buchau» am Federsee (D) durch (Huber & Holdheide 1942). Auch hier wurde durch die Jahrringmessung einer grossen Zahl an Kiefern eine relative Abfolge der Schlagdaten der Bauhölzer und somit der Baugeschichte innerhalb der Siedlung erkannt. In den folgenden Jahren und Jahrzehnten wurden eine grosse Menge an Hölzern, vorwiegend Eichen aus den Pfahlbaufundstellen, gemessen, Mittelkurven gebildet und relative Fundstellenchronologien erstellt (Delley 2015). 1963 legte Huber einen weiteren Meilenstein: Die Mittelkurven der neolithischen Fundstellen Burgäschisee-Süd (BE) und Thayngen-Weier (SH) liessen sich untereinander synchronisieren, kurz darauf auch Gachnang-Niederwil (TG) (Huber 1963 und Huber 1967). Die Anknüpfung an die Gegenwart gelang noch nicht, zu gross waren die Lücken in der Chronologie. Die Einführung computergestützter, statistischer Methoden Ende der 1960er(!)-Jahre half bei der Bewältigung grosser Bauholzinventare (Eckstein & Bauch 1969). Im Jahre 1985 dann der Durchbruch: Bernd Becker et al. 1985 präsentierten eine lückenlose Referenzchronologie zurück bis ins Jahr 4000 v. Chr. Dutzende Pfahlbausiedlungen waren nun jahrgenau datiert. Die Dendrochronologie ist ab diesem Zeitpunkt insbesondere für die Pfahlbauarchäologie unabdingbar: Die jahrgenaue Datierung von Hölzern und Siedlungen erlaubte eine völlig neue Sicht auf die Entwicklungen innerhalb von Siedlungen, liess Abfolgen von Siedlungsphasen erkennen und ermöglichte die zeitlich exakte Fixierung von zugehörigen Fundensembles. Der Jahrringkalender für die Eiche reicht heute bis ins Jahr 10 461 v. Chr. zurück, den Beginn der Wiederausbreitung der Eiche nach der letzten Eiszeit (Friedrich et al. 2004). Der «Hohenheimer Eichenstandard» basiert nicht nur auf archäologischen Hölzern, sondern vorwiegend auf subfossilen Eichen aus alten, natürlichen Flussablagerungen von Rhein, Main und Donau.

«Der Jahrringkalender für die Eiche reicht heute bis ins Jahr 10 461 v. Chr. zurück, den Beginn der Wiederausbreitung der Eiche nach der letzten Eiszeit.»

40 Jahre Dendrochronologie im Kanton Bern

Die Ausgrabung in der Ufersiedlung von Twann in den Jahren 1974–1976 lieferte Proben von über 10 000 Bauhölzern. Der Archäologische Dienst des Kantons Bern beschloss die Analyse der für die Dendrochronologie geeigneten Hölzer (Francuz 1980). Die Bewältigung dieser Aufgabe wurde John Francuz übertragen, der die Arbeiten unter Benützung der Infrastruktur des Dendrolabors der Stadtarchäologie Zürich durchführte (Francuz 2018). Mit dem Start eines umfassenden Projektes zur Inventarisierung der Pfahlbaufundstellen am Bielersee im Jahre 1984 (Winiger 1989) etablierte sich die Dendrochronologie im Kanton Bern endgültig, was 1988 zur Einrichtung eines eigenen Labors in Sutz-Lattrigen am Bielersee führte. Die Untersuchungen Winigers zeigten deutlich, wie stark einige Siedlungsstellen seit der Juragewässerkorrektion und der damit verbundenen Absenkung des Seespiegels in den 1870er-Jahren von Erosion durch Wellenschlag betroffen sind. Dies löste in den Folgejahren zahlreiche Rettungsgrabungen und Schutzmassnahmen aus. Besonders die den starken Westwinden direkt ausgesetzte Strandplatte vor Sutz-Lattri-

gen stand im Fokus der Untersuchungen. Vielerorts wurden die Fundschichten nicht mehr oder nur noch gestört angetroffen, so dass die Hölzer resp. die Reste der Pfähle zur wichtigsten, weitgehend erhaltenen Quellengattung wurden. Hier konnten auf einer Länge von drei Kilometern die Reste zahlreicher neolithischer und bronzezeitlicher Siedlungsplätze dokumentiert werden (Hafner 1992; Hafner&Suter 2000; Suter 2017). Von den innerhalb Jahrzehnten oder Jahrhunderten mehrfach belegten Plätzen zeugen heute die ausgedehnten Pfahlfelder, in denen ein Erkennen von Strukturen ohne Dendrochronologie kaum möglich ist. Kontinuierlich wurden die Holzarten aller Proben bestimmt sowie die Jahrringe der geeigneten Hölzer gemessen. Der hohe Anteil an Eichen bei allen Seeufersiedlungen des Bielersees begünstigt die Anwendung der Dendrochronologie.

Der Datenbestand des Dendrolabors des ADB umfasst aktuell über 50 000 gemessene Hölzer *(Abb. 4)*. Davon entfällt rund die

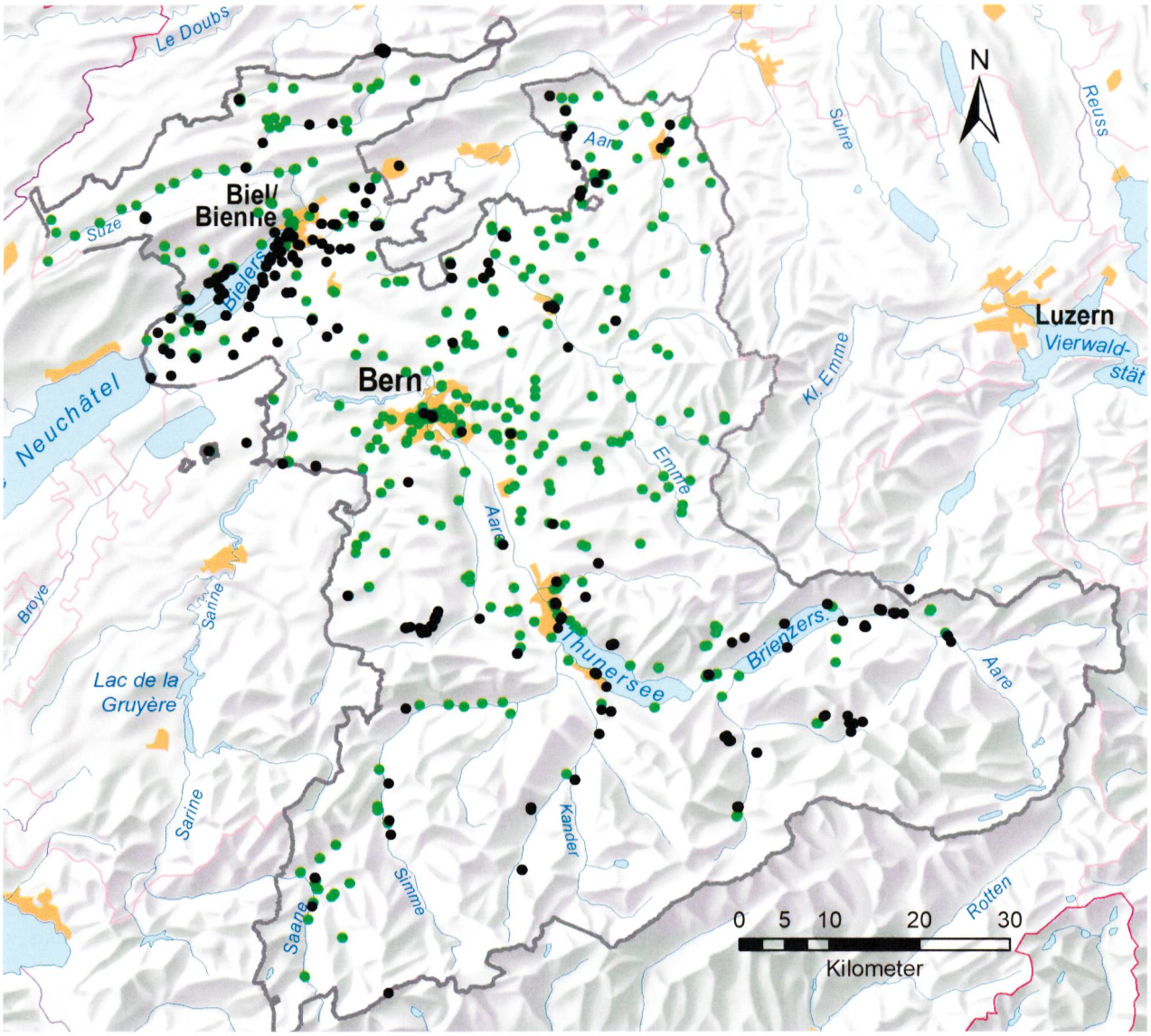


Abb. 4: Datenbestand des Dendrolabors des Archäologischen Dienstes Kanton Bern. Jeder Punkt entspricht einer Untersuchung. Grün: Datenbestand übernommen von Dendrolabor Egger. Belegung nicht gewichtet. Ein Punkt kann einige wenige (BSP rezente Proben) oder über 1000 (BSP Seeufersiedlungen Bielersee) Proben beinhalten.

Hälfte auf Hölzer aus Pfahlbausiedlungen. Sie stammen vorwiegend vom Bielersee, eine kleine Menge auch von Kleinseen wie dem Moossee oder dem Burgäschisee und neuerdings auch vom Thunersee (Schärer & Ramstein 2017). Die urgeschichtlichen Chronologien weisen insbesondere im Neolithikum zwischen 4000 und 2600 v. Chr. eine hohe Belegung auf. Seit 2015 führt das Dendrolabor auch Untersuchungen an historischen Gebäuden durch. Etwa 1500 Holzproben wurden in den letzten zwei Jahren bei Bauuntersuchungen vorwiegend für den ADB und die Kantonale Denkmalpflege sowie durch die Beprobung von rezenten Beständen entnommen. Die rezenten Hölzer dienen zur besseren Belegung der Referenzchronologien der letzten 200 Jahre, da in diesem Zeitraum bislang kaum dendrochronologische Untersuchungen an Bauten durchgeführt wurden. Eine essentielle Erweiterung des Datenbestandes von Hölzern aus historischer Zeit erfolgte durch die Übernahme der Messwerte des Dendrolabors Egger Ende des Jahres 2015, infolge Pensionierung von Heinz Egger. Von den 22 500 gemessenen Hölzern entfällt knapp die Hälfte auf den Kanton Bern. Die laufende Überprüfung und Integration der Daten ermöglicht den Aufbau von hoch belegten, nach Regionen oder Höhenstufen getrennten Referenzchronologien, was in Zukunft auch Aussagen über die Bauholznutzung in historischer Zeit zulässt (Eissing & Dittmar 2011).

«Seit 2015 führt das Dendrolabor auch Untersuchungen an historischen Gebäuden durch.»

Das Dendrolabor führt Untersuchungen für Projekte des Archäologischen Dienstes durch, jedoch auch für andere Institutionen wie die Denkmalpflege sowie für Privatpersonen.

Anwendungsbereiche in der Archäologie

Häuser, Besiedlungsdynamik und Waldnutzung. Die Ufersiedlungen am Bielersee

Ein Erkennen von Hausgrundrissen oder Siedlungsstrukturen ist im Pfahlgewirr von über die Jahrhunderte mehrfach belegten Plätzen oft kaum möglich. In der Annahme, dass innerhalb einer Struktur Hölzer mit ähnlichen Eigenschaften verbaut wurden, lassen sich jedoch bereits durch die Kombination von Holzart, Grösse und Form erste zusammengehörende Strukturen erkennen. Palisaden zeichnen sich beispielsweise durch eng gesetzte Reihen klein dimensionierter Pfähle ab. Sie wurden vielfach aus Weichhölzern wie Erle oder Hasel gebaut (z. B. Hafner 2010), deren Lebensdauer und Stabilität in keinem Vergleich zur Eiche stehen. Das Erkennen von Hausgrundrissen hingegen gelingt oft erst nach der dendrochronologischen Analyse in Kombination mit einer Kartierung der Pfähle. Durch die Kartierung gleichzeitig gefällter Bauhölzer werden zusammengehörende Strukturen erkannt. So werden aus Pfahlfluchten Stege und Gebäudegrundrisse, und aus Gebäuden werden Siedlungen. Aus den jahrgenau datierten Strukturen lässt sich ein genaues Bild der Entwicklung innerhalb einer Siedlung zeichnen. So entstanden im ersten Jahr vielfach nur ein bis zwei Gebäude, in den Folgejahren wuchs die Siedlung kontinuierlich *(Abb. 5)*.

Jüngere Pfähle in den Wand- oder Firstreihen der Gebäude zeugen von Reparaturen, meist schon nach wenigen Jahren. Die Laufzeit von Pfahlbauhäusern ist zwischen einigen wenigen Jahren und, jedoch eher selten, gar mehreren Jahrzehnten nachgewiesen (Ebersbach 2010). Eine ebenso hohe Bandbreite und Dynamik widerspiegeln die zahlreichen Siedlungsphasen. Während einige Siedlungen wie Sutz-Lattrigen Riedstation *(Abb. 5)* Schlagdaten zwischen 3393 und 3388 v. Chr., also über lediglich sechs Jahre, aufweisen (Hafner 1992), ist die Belegung anderer Plätze wie Sutz-Lattrigen Rütte lückenlos während rund 40 Jahren

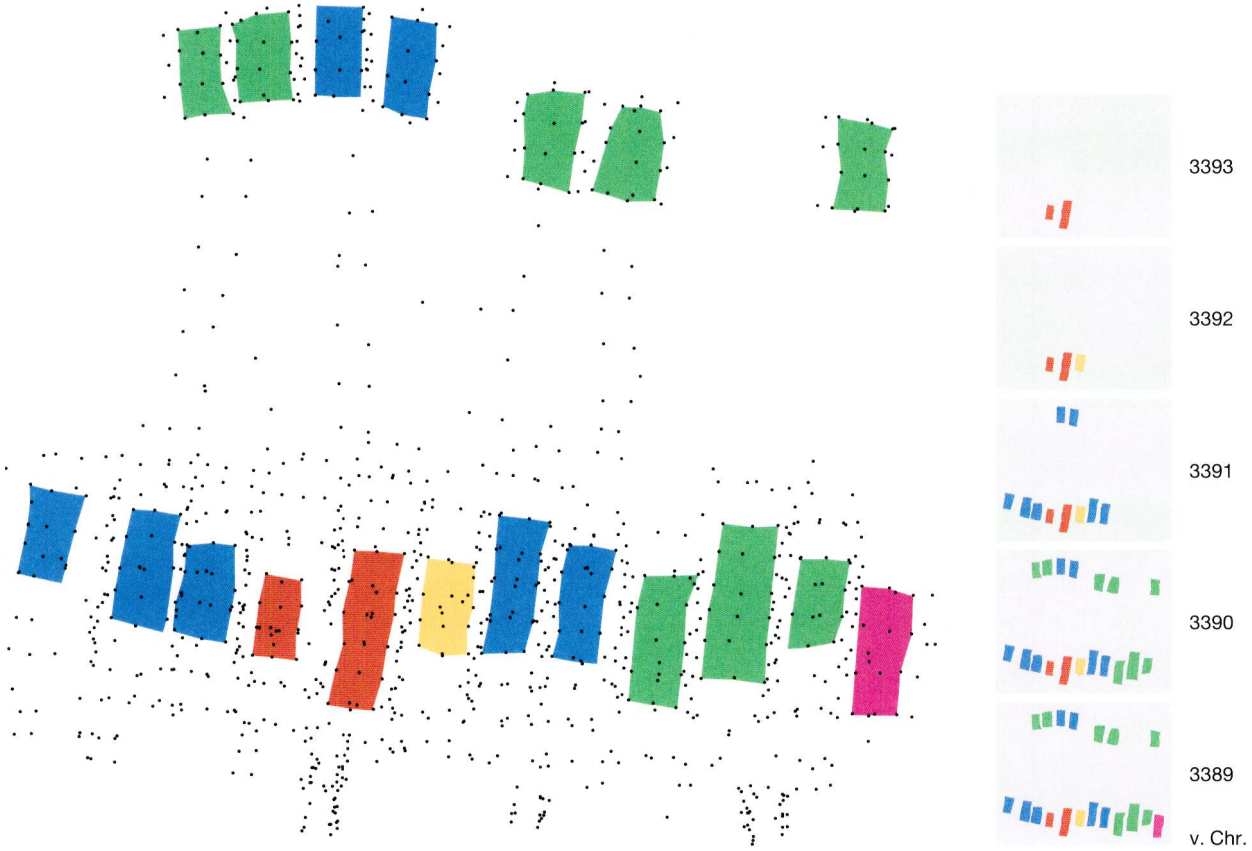


Abb. 5: Sutz-Lattrigen, Riedstation. Beispiel einer mittels Dendrochronologie festgestellten, jahrgenauen Siedlungsentwicklung.

belegt (2726–2688 v. Chr.) (Suter 2017). Auf dem drei Kilometer langen Uferstreifen vor Sutz-Lattrigen sind für das 4. und 3. Jahrtausend v. Chr. bislang rund 25 solcher Siedlungsphasen nachgewiesen. Einzelne Siedlungen existierten gleichzeitig, bei anderen scheint eine direkte Abfolge möglich. Ein ähnliches, dynamisches Bild zeichnet sich auch am Neuenburgersee, am Zürichsee und am Bodensee ab (Suter 2017; Billamboz et al. 2010; Bleicher & Burger 2015).

Mit der Datierung und dem Erkennen von Hausgrundrissen und Siedlungsphasen ist das Potential der Hölzer jedoch nicht ausgeschöpft. Die eingangs erwähnten Standort- und Wachstumseinflüsse *(Abb. 3)* können die Datierung eines Holzes erschweren. Gleichzeitig enthalten sie Informationen zur individuellen Geschichte eines Baumes oder eines Waldbestandes. Mittels eines dendrotypologischen Ansatzes kann beispielsweise versucht werden, die Entwicklung eines Waldbestandes im Laufe der Zeit aufzuzeigen. Hierzu werden die Bauhölzer nach verschiedenen Eigenschaften wie Holzart, Schlagdatenverteilung, Altersklassenverteilung, charakteristischen Jahrringmustern sowie dem Zerlegungsgrad (Rundholz, Hälbling, Viertel usw.) gruppiert. So konnten für den Bodensee sowie den Zürichsee an ausgewählten Siedlungsplätzen oder in Siedlungskammern unterschiedliche Formen der Waldnutzung nachgewiesen werden (Billamboz 2009; Billamboz & Köninger 2008; Billamboz et al. 2010; Bleicher 2009; Bleicher & Burger 2015; Bleicher et al. 2013). Zu Beginn der Besiedlung eines Platzes weisen die Bauholzinventare oftmals auf die Rodung naturnaher oder zumindest seit längerer Zeit regenerierter Bestände hin. Die

anschliessende Nutzung von potentiellen Stockausschlägen in jüngeren Siedlungsphasen ist als Resultat einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder zu deuten. Bei intensiver Besiedlung desselben Platzes kann dies in einer Auslichtung gipfeln. Die Verwendung von immer älteren und dickeren Stämmen, welche für die Herstellung von Pfählen aufwendiger zerlegt werden mussten, deutet auf eine Übernutzung der lokalen Bestände hin. Die gleichzeitige Zunahme der Nutzung von anderen, weniger geeigneten Holzarten kann diese Interpretation stützen.

Exemplarisch soll diese Methode anhand eines Einblicks in das Bauholzinventar der Fundstelle Sutz-Lattrigen, Rütte vorgestellt werden (siehe auch Suter 2017). Drei Viertel der Bauhölzer dieser Fundstelle sind Eichen, abzüglich der für die Palisaden verwendeten Weichhölzer ist der Anteil noch höher. Von den bislang rund 1100 datierten Hölzern wurden alle mit Waldkante (Jahrgenaues Fälldatum) und mindestens 35 Jahrringen nach Schlagphasen und nach Altersklassen gruppiert *(Abb. 6)*.

Die grafische Umsetzung dieser Gruppen zeigt das Schlagdatum (vertikale Dreieckseite), das mittlere Alter der Hölzer (Länge der Dreiecke), die durchschnittliche Jahrringbreite (Höhe der Dreiecke) sowie die Anzahl der enthaltenen Hölzer (Belegung, Dicke der Dreiecke). Für den Bau der ersten Siedlung (Phase A) wurden Hölzer verschiedener Altersklassen verwendet, was auf die Nutzung oder gar Rodung eines relativ naturnahen, heterogenen Waldbestandes schliessen lässt. In der zweiten Phase (B1) hingegen wurden neben einer kleinen Zahl älterer Bäume vorwiegend junge Hölzer mit weniger als 60 Jahrringen und mit hohen durchschnittlichen Zuwachsraten verwendet, was auf lichtere Verhältnisse schliessen lässt. Für die grosse Renovation oder den Neubau des Dorfes an derselben Stelle (Phase B2) wurden um das Jahr 2704 v. Chr. fast ausschliesslich Hölzer mit hohen Zuwachsraten in den Jugendjahren und einer gleichmässigen Abnahme der Jahrringbreiten aufgrund des Konkurrenzdruckes um Licht verwendet. In Kombination mit der Häufung der Keimjahre der Bäume innerhalb weniger Jahre lässt dies auf einen Sekundärwald schliessen, der nach der Bauholzbeschaffung um 2755 v. Chr. auf den Wurzelstöcken der für Phase A gefällten Bäume als Stockwald gekeimt ist. Für die Ausbesserungen, bis zur Auflassung der Siedlung kurz nach 2690 v. Chr., wurden zunehmend ältere

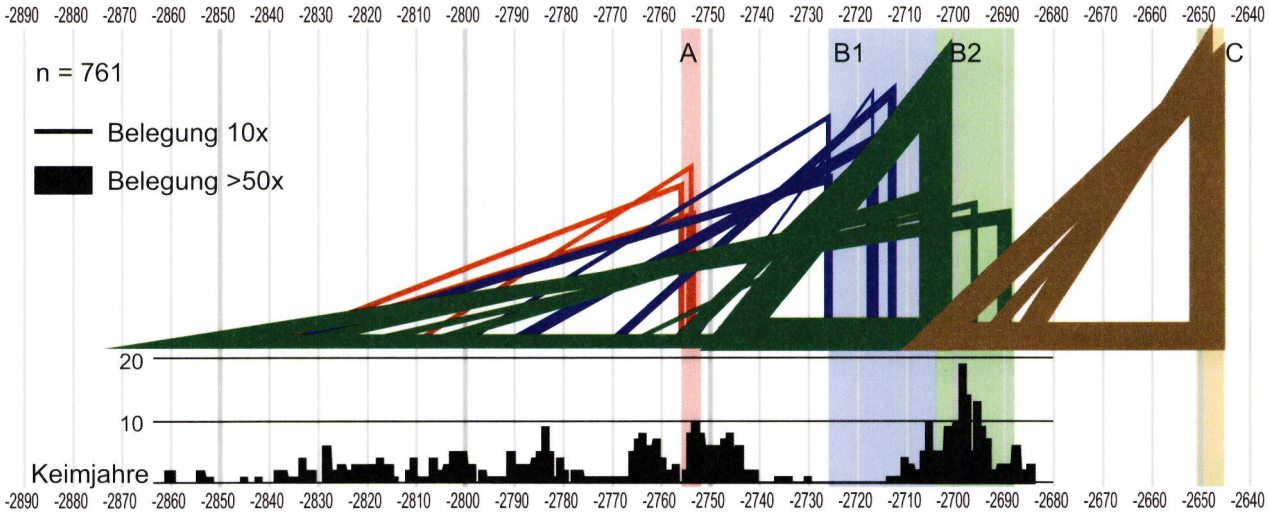


Abb. 6: Dendrotypologische Darstellung der bislang datierten Bauhölzer der Siedlung Sutz-Lattrigen, Rütte. Mit der Dreieckform wird das Verhältnis Baumalter zu radialem Durchschnittzuwachs für die jeweiligen Dendrogruppen zum Ausdruck gebracht. Die Dicke der Striche entspricht der Anzahl der in den Gruppen enthaltenen Hölzer (Belegung). Farblich markiert sind die drei Besiedlungs- resp. vier Bauphasen (A–C).

Bäume gefällt im Winter 1544/1545. Entnahme von Bohrkernen für die Jahrringmessung in einem der vielen Dachstühle des Schlosses Burgdorf.

und dickere Bäume verwendet, welche stärker zerlegt werden mussten – ein eindeutiger Hinweis auf die Übernutzung des Bestandes idealer Bauhölzer. 40 Jahre später hingegen konnte wieder gutes Bauholz geschlagen werden (C). Auch hier zeigt die Häufung der Keimjahre eindeutig, dass es sich um einen direkten Sukzessionswald auf derselben Fläche handeln muss. Aus dem Zusammenspiel zwischen ähnlichen Wachstumsmustern sowie zwischen Schlagaktivitäten und Wachstumsbeginn von neuem Bauholz lässt sich folgern, dass in den rund hundert Jahren der Besiedlung des Platzes Sutz-Lattrigen Rütte derselbe Waldbestand genutzt und gepflegt wurde. Die Eiche als bestes Bauholz wurde wohl als Stockwald gezielt gefördert und in den Jugendjahren auch vor Verbiss geschützt, denn in einem der Natur überlassenen Waldstück wäre eine Regeneration der Eiche in diesem Ausmass nicht vorstellbar. Bereits im Neolithikum wurde am Bielersee nachhaltige Waldwirtschaft betrieben!

Ob sich in den Hölzern durch eine Häufung von Auflichtungserscheinungen weitere Aktivitäten im Wald herausfiltern lassen, welche auf Fälltätigkeiten für bislang unbekannte Siedlungsphasen hinweisen, bleibt einer zukünftigen Auswertung vorbehalten. Dasselbe gilt auch für Schneitelereignisse (Astschnitt für Laubfutter), welche anhand anatomischer Reaktionen festgestellt werden könnten *(Abb. 3* sowie Bleicher & Burger 2015).

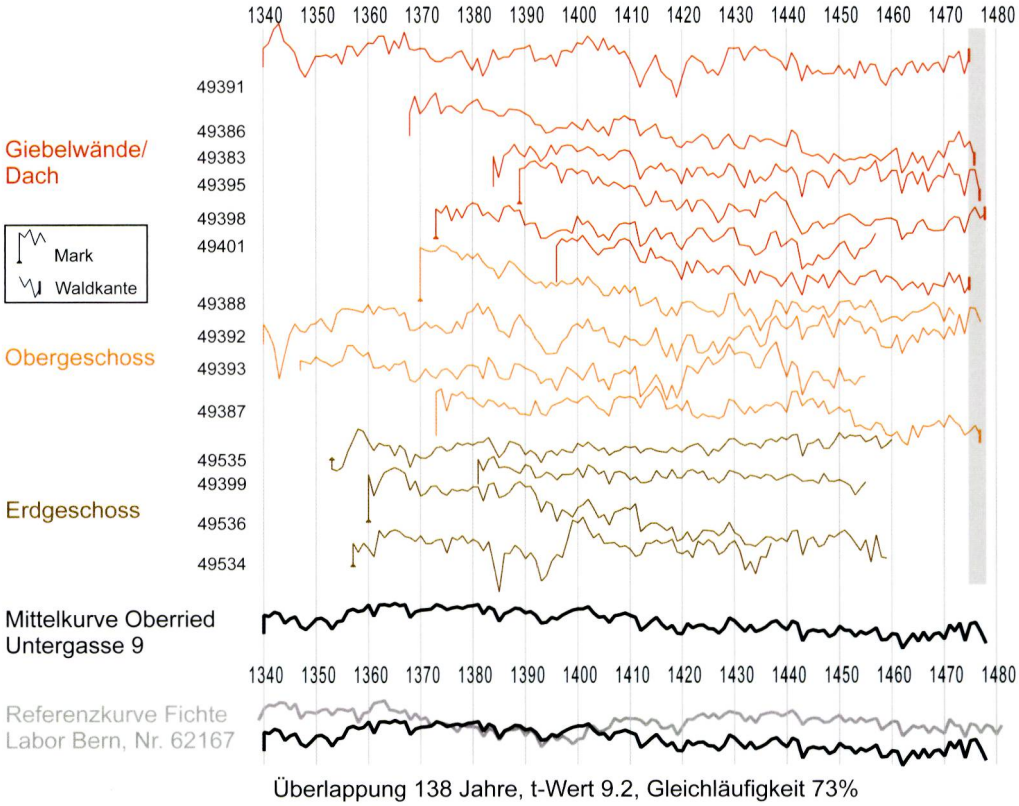


Abb. 7: Oberried am Brienzersee, Untergasse 9. Blockbau von 1478. Deckungsbild der datierten Hölzer (Fälljahre grau hinterlegt) sowie der daraus erstellten Mittelkurve im Vergleich zu der Referenzkurve. Aufgrund der Bearbeitung (Kanthölzer) sowie des schlechten Zustandes der Hölzer wurden in den unteren Geschossen auch Proben ohne Waldkante entnommen. Dank der guten Belegung der Mittelkurve (14 Hölzer), der hohen statistischen Werte (t-Wert und Gleichläufigkeit) sowie der guten visuellen Übereinstimmung gilt die Datierung als gesichert.

Mit den Datierungen sowie den Resultaten zu Besiedlungsdynamik und Waldwirtschaft leistet die Dendroarchäologie einen fundamentalen Beitrag zum Verständnis der damaligen Lebensweise. In Kombination mit wirtschaftsarchäologischen, umwelthistorischen und sozialgeschichtlichen Themen (Bleicher & Harb 2017; Ebersbach 2010; Röder et al. 2013) entsteht somit ein für diesen Zeitraum einmaliges Bild der Lebensweise der damaligen Menschen. Die Bucht vor Sutz-Lattrigen bietet mit den zahlreichen datierten Hölzern hervorragende Voraussetzungen für zukünftige dendroarchäologische und -ökologische Untersuchungen.

«Alt» ist relativ. Die ältesten Holzhäuser im Berner Oberland

Die Bauforschung befasst sich ebenfalls mit alten Gebäuden. Auch wenn sie rund 4100 Jahre jünger sind als diejenigen von Sutz-Lattrigen, bezogen auf den heute noch erhaltenen Baubestand sind sie alt. Im Jahre 2017 untersuchte der Archäologische Dienst ein unscheinbares, mit Schindeln eingefasstes Gebäude in Oberried am Brienzersee (König & Zaugg 2018). Es wurde vermutet, dass sich im Kern Elemente eines Gründungsbaus aus dem 16. Jahrhundert erhalten haben. Um nicht nur einzelne Hölzer, sondern Bauphasen zu datieren, erfolgte eine vorgängige, baugeschichtliche Analyse. Eine umfassende dendrochronologische Beprobung mittels Kernbohrungen von knapp einem Zentimeter Durchmesser brachte dann die Überraschung: Vom Keller bis ins Dachgeschoss verbarg sich hinter den Schindeln ein Gebäude mit Fälldaten der Hölzer in den Jahren 1475–1478 *(Abb. 7)*.

Ausgelöst durch diese überraschend frühe Datierung stellte sich die Frage nach den ältesten erhaltenen Gebäuden im Berner Oberland. Allgemein wird das «Heidenkreuz», eine altertümlich erscheinende Konstruktion mit einem Mittelständer im Giebelfeld, als Element der Zeit um das Jahr 1500 gesehen *(Abb. 8* , links oben). Im Berner Oberland sind heute rund 20 Bauten mit diesem Merkmal bekannt, mit Schwerpunkt im Simmental und im Saanenland. Genauere Erkenntnisse liefert nun eine Aufarbeitung der bislang dendrodatierten Gebäude sowie einzelne neue Untersuchungen (Bolliger 2018): Die Daten zwischen den Jahren 1456 und 1509 bestätigen das hohe Alter dieser Bauten *(Abb. 8)*.

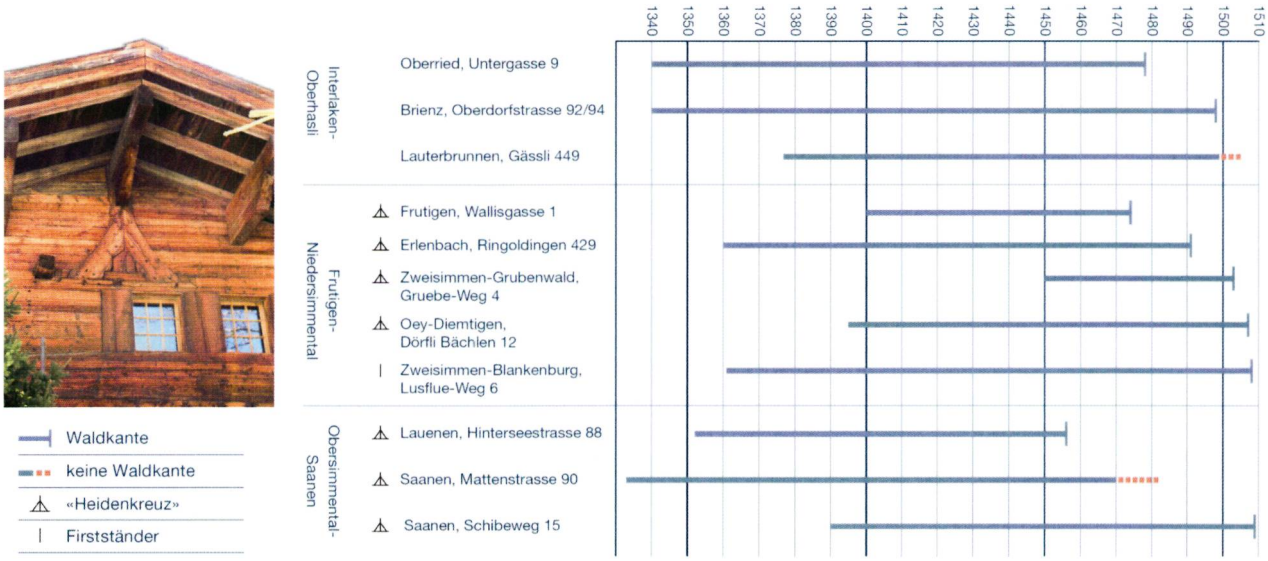


Abb. 8: Die ältesten dendrodatierten Holzbauten des Berner Oberlandes bis um 1500. Die Länge der Balken entspricht der Anzahl Jahrringe der Mittelkurve. Links ein Beispiel mit Heidenkreuz in der Giebelwand (Saanen, Mattenstrasse 90).

Aus dem östlichen Oberland stammen ähnlich alte Holzgebäude ohne Heidenkreuz, etwa das erwähnte Wohnhaus in Oberried oder ein Gebäude in Brienz aus dem Jahr 1498 (Herrmann & Büchi 2018). Es ist also durchaus möglich, dass einige andere unscheinbare und «altertümlich» wirkende Gebäude im Berner Oberland bis ins 15. Jahrhundert zurückreichen. Ob sich darunter, wie in den benachbarten Talschaften des Wallis (Bellwald 2010) oder der Innerschweiz (Huwyler 1993), noch weit ältere Holzbauten befinden, werden künftige Untersuchungen zeigen. Die besten Resultate werden durch die Zusammenarbeit von Dendrochronologie und Bauforschung erreicht. Mit der Erweiterung des Dendrolabors des ADB im Bereich Bauforschung herrschen für die Zukunft ideale Voraussetzungen.

Dendrochronologie und Radiokarbondatierung

Gelingt keine sichere Datierung auf klassisch dendrochronologischem Weg, so bleibt die Möglichkeit, mithilfe der Radiokarbondatierung Hölzer zeitlich grob einzuordnen. Vielfach geschieht dies bei subfossilen Hölzern aus natürlichen Ablagerungen, welche oft nicht auf Anhieb auf eine der Referenzchronologien passen. Eine Eingrenzung auf einige Jahrzehnte hilft, die Hölzer grob zu sortieren und möglich Deckungslagen mit anderen Hölzern zu finden. Die Rohwerte von Radiokarbondatierungen müssen nach der Messung kalibriert werden, da der Gehalt an 14C in der Atmosphäre im Laufe der Zeit nicht konstant war (Siehe Beitrag Szidat und Stapfer, S. 20). Die Kalibrationskurve wurde auf Basis von Messungen einzelner, datierter Jahrringe der letzten 10 000 Jahre erstellt.

«Bereits im Neolithikum wurde am Bielersee nachhaltige Waldwirtschaft betrieben!»

Bei archäologischen Untersuchungen kommt oft eine Kombination der beiden Methoden zum Einsatz. Die Ausgrabung Moosseedorf, Strandbad im Jahre 2011 brachte zum Beispiel zahlreiche neolithische Strukturen und Funde zutage. Neben einem Bohlenweg wurden auch ein Steg, verschiedene Pfahlreihen (Palisaden?) sowie eine Konzentration liegender Hölzer dokumentiert (*Abb. S. 45* und Bolliger 2017). Die dendrochronologische Bearbeitung führte zum Aufbau verschiedener Mittelkurven aus Eschen. Eine absolute Datierung derselben gelang mangels Referenzchronologien für die Esche hingegen nicht. Eine zeitliche Eingrenzung Mithilfe des spärlichen Fundmaterials war aufgrund der komplexen Ablagerungsbedingungen und der nachträglichen Aufarbeitungsprozesse unsicher. Abhilfe schuf ein so genanntes «*wiggle matching*» *(Abb. 9)*, in welchem die bloss relativ bekannten Alter mittels 14C Analysen in einen absoluten Rahmen eingepasst werden. Dazu werden mehrere 14C-Proben in durch die Jahrringserien klar definierten zeitlichen Abständen entnommen (die Abstände sind in Abb. 9 angegeben). Diese Jahrringe (eigentlich sind es «mittlere Jahrringe», da meist mehrere Jahrringe in einer Probe enthalten sind) besitzen unterschiedliche 14C Alter, weil sie sich nach ihrem Wachstum nicht mehr erneuern sondern das 14C sozusagen Jahrringweise konservieren. Somit tickt in jedem Jahrring eigentlich eine eigene 14C Uhr. Die erhaltenen 14C Alter der verschiedenen Proben erlauben es, den Datierungsspielraum noch stärker einzugrenzen als bei einer Einzeldatierung (Bronk Ramsey et al. 2001). Im Falle der Eschenmittelkurve von Moosseedorf wurden vier Proben von unterschiedlichen Jahrringen eines in die Mittelkurve eingebauten Holzes durch das Radiokarbonlabor der Universität Bern datiert. Die einzelnen 14C Bestimmungen weisen nach der Kalibration eine Ungenauigkeit von 100 bis 300 Jahren auf, da insbesondere die beiden letzten im Bereiche eines Kalibrationsplateaus liegen (Nr. 10170/10169, siehe *Abb. 9*). Die hellgrauen Bereiche unterhalb der unregelmässigen Kurven zeigen diese Ungenauigkeit. Sie entsprechen keinen statistischen Fehlern, sondern werden durch den

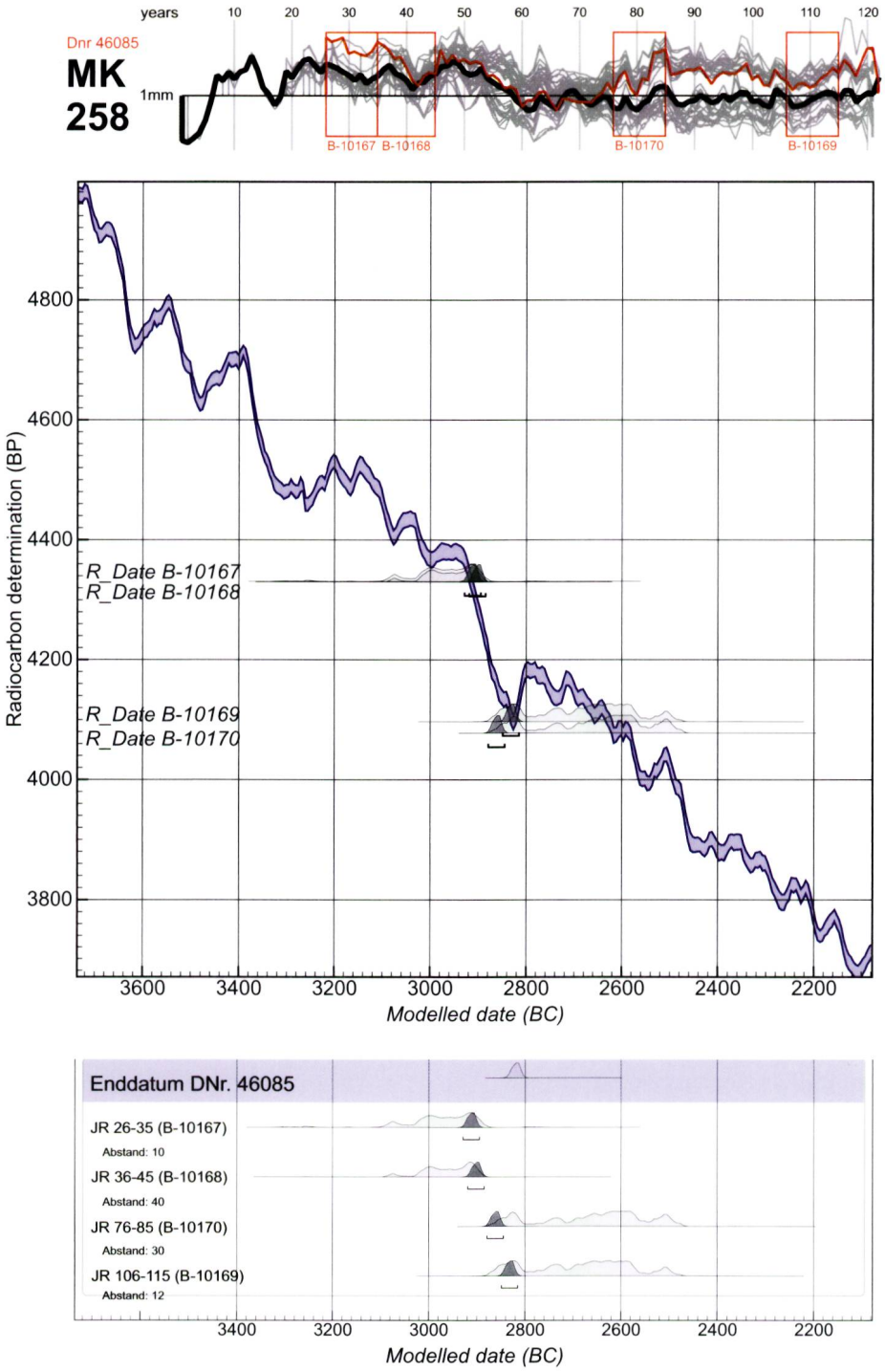


Abb. 9: Wiggle matching der Eschenmittelkurve MK 258 von Moosseedorf, Strandbad/Moossee Ost. Vgl. Bolliger 2017. Die roten Rahmen kennzeichnen die beprobten Jahrringe des Einzelholzes DNr 46085 in der Mittelkurve MK 258. Blau dargestellt die Kalibrationskurve (IntCal 13, nach Reimer et al. 2013). Die grauen Flächen sind das Resultat der Einzelkalibrationen, die schwarzen Flächen resultieren, wenn die uns bekannten Jahrringabstände der 14C-Proben als Rahmenbedingung erfüllt sind. Das Enddatum gibt den daraus errechneten Datierungsspielraum des letzten Jahrringes der Mittelkurve wieder (Kalibriert mit OxCal v4.2.4, (Bronk Ramsey 2013).

nicht linearen Verlauf der 14C Kurve verursacht (Siehe Beitrag Szidat und Stapfer, S. 20). Die dunkelgrauen Bereiche unterhalb der kleinen glockenförmigen Kurven entsprechen dem «best Fit» der Anpassung (wiggle matching).

So konnte das Enddatum der Mittelkurve auf die Jahre zwischen 2838 und 2804 v. Chr. eingegrenzt werden – die Pfähle und die liegenden, bearbeiteten Hölzer stammen also aus einem Zeitraum, aus dem im Umfeld des Siedlungsplatzes bislang keine Funde bekannt waren!

Dendroökologie: Umweltinformationen aus den Jahrringen

Die eingangs erwähnten Fachgebiete Dendroklimatologie, Dendrogeomorphologie und Dendrochemie verwenden die Jahrringserien zur Rekonstruktion vergangener Umweltbedingungen. Die Jahrringe der langen Zeitreihen beinhalten auch Informationen zu Temperatur, Niederschlag und zum Gehalt an Isotopen in der Atmosphäre.

«So konnten beispielsweise die mittleren Sommertemperaturen zurück bis ins 8. Jh. n. Chr. rekonstruiert werden.»

Die Dendroklimatologie versucht, die Reaktion von Bäumen auf die Umweltbedingungen zu verstehen. Mit den Wetteraufzeichnungen der letzten rund 150 Jahre besteht eine hervorragende Vergleichsbasis. Dies ermöglicht, Veränderungen der Pflanzen auf äussere Einflüsse wie der Klimaerwärmung vorherzusagen. Gleichzeitig erlaubt die Methode bei Verwendung der langen Chronologien auch einen Einblick in die Vergangenheit. Für dendroklimatologische Untersuchungen werden bevorzugt Bäume von Standorten mit den limitierenden Wachstumsfaktoren Temperatur (Limitierung der Wachstumsperiode an der Baumgrenze in Höhenlagen oder an der Polargrenze) und Niederschlag (Trockenstandorte) verwendet (Büntgen et al. 2008). Im Vergleich zur klassischen Jahrringbreitenmessung werden insbesondere die Spätholzdichte (mittels Röntgen) oder neuerdings, weniger aufwendig, die Blue Intensity (Bildanalyse von blau reflektiertem Licht) gemessen (Kaczka et al. 2018). In diesen ist das jährliche Wettersignal noch ausgeprägter gespeichert als in der Jahrringbreite. Die Isolierung des gewünschten Signals bedingt dennoch eine anschliessende Bereinigung von individuellen Wachstumseinflüssen. Dies erfolgt mittels eines breiten Spektrums an mathematischen Filterfunktionen (Speer 2011).

So konnten beispielsweise die mittleren Sommertemperaturen zurück bis ins 8. Jh. n. Chr. rekonstruiert werden (Büntgen et al. 2006). Zusammen mit historischen Aufzeichnungen, Gletscherschwankungen (Holzhauser 2009) und Isotopenuntersuchungen (Speer 2011) an Jahrringen entsteht ein immer besseres Bild der Beziehungen zwischen Mensch, Klima und Umwelt. Die Jahrringreihen dienen als indirektes Archiv, welches in Kombination mit historischen Ereignissen und mit Ergebnissen aus der Archäologie und anderen Naturwissenschaften wie der Palynologie in Zukunft noch viele neue Erkenntnisse erlauben wird (Büntgen et al. 2011).

Literatur

Becker Bernd, Billamboz André, Egger Heinz, Gassmann Patrick, Orcel Alain, Orcel Christian und Ruoff Ulrich (1985) Dendrochronologie in der Ur- und Frühgeschichte. Die absolute Datierung von Pfahlbausiedlungen nördlich der Alpen im Jahrringkalender. Antiqua 11, Schweizerische Ges. für Ur- und Frühgesch., Basel.

Bellwald Werner (2011) Holzjahrringe und ihre Aussagekraft. Aufschlussreiche Resultate für die Wallliser Bauernhausforschung. In: Anderegg Klaus, Bellwald Werner, Flückiger-Seiler Roland, Loretan Hildegard und Raymond Denyse 2011: Die Bauernhäuser des Kantons Wallis. Bd. 3.1. Die Bauernhäuser der Schweiz 13, Schweizerische Gesellsch. f. Volkskde, Basel, 547–574.

Billamboz André (2009) Jahrringuntersuchungen in der Siedlung Forschner und weiteren bronze- und eisenzeitlichen Feuchtbodensiedlungen Südwestdeutschlands. Aussagen der angewandten Dendrochronologie in der Feuchtbodenarchäologie. In: Siedlungsarchäologie im Alpenvorland 11, 2009: Die früh- und mittelbronzezeitliche «Siedlung Forschner» im Federseemoor. Befunde und Dendrochronologie. Forschungen und Berichte zur Vor- und Frühgeschichte in Baden-Württemberg, Konrad Theiss, Stuttgart, 399–555.

Billamboz André und Köninger Joachim (2008) Dendroarchäologische Untersuchungen zur Besiedlungs- und Landschaftsentwicklung im Neolithikum des westlichen Bodenseegebietes. In: Dörfler Walter und Müller Johannes (Hrsg.) 2008, Umwelt – Wirtschaft – Siedlungen im dritten vorchristlichen Jahrtausend Mitteleuropas und Südskandinavien. Offa-Bücher 84, Wachholtz, Neumünster, 317–334.

Billamboz André, Maier Ursula, Matuschik Irenäus, Müller Adalbert, Out Welmoed, Steppan Karlheinz und Vogt Richard (2010) Die jung- und endneolithischen Seeufersiedlungen von Sipplingen «Osthafen» am Bodensee: Besiedlungs- und Wirtschaftsdynamik im eng begrenzten Naturraum des Sipplinger Dreiecks. In: Matuschik et al. 2010, 253–286.

Bleicher Niels (2009) Altes Holz in neuem Licht. Archäologische und dendrochronologische Untersuchungen an spätneolithischen Feuchtbodensiedlungen in Oberschwaben. Berichte zu Ufer- und Moorsiedlungen Südwestdeutschlands V, Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg 83, Konrad Theiss, Stuttgart.

Bleicher Niels und Harb Christian (Hrsg.) (2017) Zürich-Parkhaus Opéra. Eine neolithische Feuchtbodenfundstelle. Band 3, 2017: Naturwissenschaftliche Analysen und Synthese. Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 50, Baudirektion Kanton Zürich, Zürich und Egg.

Bleicher Niels und Burger Maria (2015) Dendroarchäologie und Pfahlfeldanalyse in den neolithischen Siedlungen von Zürich-Parkhaus Opéra. In: Bleicher Niels, Harb Christian (Hrsg.) (2015) Zürich-Parkhaus Opéra. Eine neolithische Feuchtbodenfundstelle. Band 1: Befunde, Schichten und Dendroarchäologie. Monographien der Kantonsarchäologie Zürich 48, Baudirektion Kanton Zürich, Zürich und Egg, 100–142.

Bleicher Niels, Bolliger Matthias und Gut Urs (2013) Ein erster dendrotypologischer Überblicksversuch über die Bauholzserien der Ufersiedlungen am Zürichsee. In: Bleicher Niels, Schlichtherle Helmut, Gassmann Patrick, Martinelli Nicoletta (Hrsg.) 2013: Dendro: – Chronologie – Typologie – Ökologie. Festschrift für André Billamboz zum 65. Geburtstag, Janus, Freiburg i. Br., 51–57.

Bolliger Matthias (2017) Moossee Ost. Dendrochronologie und Pfahlfeldanalyse. In: Harb Christian, mit Beiträgen von Matthias Bolliger und André Rehazek 2017, Moosseedorf, Moossee. Ein Überblick über 160 Jahre Pfahlbauforschung. Hefte zur Archäologie im Kanton Bern 2, Archäologischer Dienst des Kantons Bern, Bern, 32–47.

Bolliger Matthias (2018) Die ältesten Holzhäuser im Berner Oberland. Zur dendrochronologischen Datierung von Gebäuden aus der Zeit um 1500. Jahrbuch Archäologie Bern 2018, Archäologischer Dienst des Kantons Bern, 268–275.

Bronk Ramsey Christopher (2013) OxCal 4.2. http://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal

Bronk Ramsey Christopher, Van der Plicht Johannes and Weninger Bernhard (2001) 'Wiggle matching' radiocarbon dates. Radiocarbon 43, 2A, 381–389.

Büntgen Ulf, Frank David, Nievergelt Daniel and Esper Jan (2006) Summer temperature variations in the European Alps, A.D. 755–2004. Journal of Climate 19, 5606–5622.

Büntgen Ulf, Esper Jan und Frank David (2008) Wie reagieren Bäume auf Klimaveränderungen? Jahrbuch der Baumpflege 2008, Haymarket Media, 26–39.

Büntgen Ulf, Tegel Willy, Nicolussi Kurt, McCormick Michael, Frank David, Trouet Valerie, Kaplan Jed O., Herzig Franz, Heussner Karl-Uwe, Wanner Heinz, Luterbacher Jürg and Esper Jan (2011) 2500 years of European climate variability and human susceptibility. Science 331, 578, 548–582.

Delley Géraldine (2015) Au-delà des chronologies. Des origines du radiocarbone et de la dendrochronologie à leur intégration dans les recherches lacustres suisses. Archéologie neuchâteloise 53, Office du patrimoine et de l'archéologie de Neuchâtel, Neuchâtel.

Douglass Andrew E. (1921) Dating our prehistoric ruins. How growth rings in timbers aid in establishing the relative ages of the ruined Pueblos of the Southwest. Natural History 21/1, 27–33.

Ebersbach Renate (2010) Vom Entstehen und Vergehen – Überlegungen zur Dynamik von Feuchtbodenhäusern und -siedlungen. In: Matuschik et al. 2010: 41–50.

Eckstein Dieter und Bauch Josef (1969) Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. Forstwissenschaftliches Centralblatt 88/4, 230–250.

Eissing Thomas and Dittmar Christoph (2011) Timber transport and denro-provenancing in Thuringia and Bavaria. In: Tree Rings, Art, Archaeology. Proceedings of a conference. Scientia Artis 7, Brussels, Royal institute for cultural heritage, 137–149.

Francuz John (1980) Dendrochronologie: In: Furger Alex R. (1980) Die Siedlungsreste der Horgener Kultur. Die neolithischen Ufersiedlungen von Twann 7, Schriftenreihe der Erziehungsdirektion des Kantons Bern / Archäologischer Dienst , Bern, 197–210.

Francuz John (2018) Zur Entwicklung der Dendrochronologie am Bielersee 1978–2014. Jahrbuch Archäologie Bern 2018, Archäologischer Dienst des Kantons Bern, 242–267.

Friedrich Michael, Remmele Sabine, Kromer Bernd, Hoffmann Jutta, Spurk Marco, Kaiser Klaus Felix, Orcel Christian and Küppers Manfred (2004) The 12460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe – a unique annual record for radiocarbon calibration and palaeoenvironment reconstructions. Radiocarbon 46/3, 1111–1122.

Hafner Albert (1992) Lattrigen VI-Riedstation. Siedlungsplan und Baugeschichte. Ufersiedlungen am Bielersee 4, Berner Lehrmittel- und Medienverl., Bern.

Hafner Albert (2010) Ufersiedlungen mit Palisaden am Bielersee. Hinweise auf Verteidigungssysteme in neolithischen und bronzezeitlichen Pfahlbauten. In: Matuschik et al. 2010, 357–376.

Hafner Albert und Suter Peter J. (2000) -3400. Die Entwicklung der Bauerngesellschaften im 4. Jahrtausend v. Chr. am Bielersee aufgrund der Rettungsgrabungen von Nidau und Sutz-Lattrigen. Ufersiedlungen am Bielersee 6, Berner Lehrmittel- und Medienverl., Bern.

Haury Emil W. (1962) HH-39: Recollections of a dramatic moment in southwestern archaeology. Tree-Ring Bulletin 24/3–4, 11–14.

Herrmann Volker und Büchi Leta (2018) Ein ungewöhnliches Berner Oberländer Haus des 15./16. Jahrhunderts. Jahrbuch Archäologie Bern 2018, Archäologischer Dienst des Kantons Bern, 61–65.

Holzhauser Hanspeter (2009) Auf dem Holzweg zur Gletschergeschichte. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern 66, 173–208.

Huber Bruno (1963) Jahrringchronologische Synchronisierung der Jungsteinzeitlichen Siedlungen Thayngen-Weier und Burgäschisee-Süd und -Südwest. Germania 41, 1–9.

Huber, Bruno (1967), Seeberg, Burgäschisee-Süd, Dendrochronologie. In: Bandi Hans Georg (Hrsg.), Seeberg, Burgäschisee-Süd. Acta Bernensia Band 2, Teil 4: Chronologie und Umwelt, Bern, 145–156.

Huber Bruno und Holdheide Wilhelm (1942) Jahrringchronologische Untersuchungen an Hölzern der bronzezeitlichen Wasserburg Buchau am Federsee. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 60/5, 261–283.

Huwyler Edwin (1993) Die Bauernhäuser der Kantone Obwalden und Nidwalden. Die Bauernhäuser der Schweiz 20, Schweizerische Gesellsch. f. Volkskde, Basel.

Kaczka Ryszard J, Spyt Barbara, Beil Ilka, Büntgen Ulf, Scharnweber Tobias, Nievergelt Daniel and Wilmking Martin (2018) Different maximum latewood density and blue intensity measurements techniques reveal similar results. Dendrochronologia 49, 94–101.

König Kathrin und Zaugg Pascal (2018) Ein unerwartet altes Haus lüftet einige seiner Geheimnisse. Jahrbuch Archäologie Bern 2018, Archäologischer Dienst des Kantons Bern, 77–80.

Matuschik Irenäus, Strahm Christian, Eberschweiler Beat, Fingerlin Gerhard, Hafner Albert, Kinsky Michael, Mainberger Martin und Schöbel Gunter (Hrsg.) (2010) Vernetzungen. Aspekte siedlungsarchäologischer Forschungen. Festschrift für Helmut Schlichtherle zum 60. Geburtstag, Lavori Verlag, Freiburg im Breisgau.

Reimer Paula J., Bard Edouard, Bayliss Alex, Beck Warren, Blackwell Paul G, Bronk Ramsey Christopher, Buck Caitlin E, Cheng Hai, Edwards Lawrence, Friedrich Michael, Grootes Pieter M, Guilderson Thomas P, Haflidason Haflidi, Hajdas Irka, Hatte Christine, Heaton Timothy J, Hoffmann Dirk L, Hogg Alan G, Hughen Konrad A, Kaiser Felix, Kromer Bernd, Manning Sturt W., Niu Mu, Reimer Ron W., Richards David A., Scott Marian, Southon John R., Staff Richard A., Turney Christian S. M, van der Plicht Johannes (2013) IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. Radiocarbon 55/4, 1869–1887.

Röder Brigitte, Doppler Thomas, Pichler Sandra, Pollmann Britta, Jacomet Stefanie and Schibler Jörg (2013) Beyond the settlement grid: investigating social differences through archaeobiology in waterlogged sites. Journal of Neolithic Archaeology, October 15th, 12–46.

Rump H. H. (2018) Bäume und Zeiten – Eine Geschichte der Jahrringforschung. Berlin.

Schärer Lukas und Ramstein Marianne (2017) Pfahlbauer am Thunersee – Neue Fundstellen im unteren Seebecken. Archäologie Schweiz 40/1, 16–23.

Schweingruber Fritz Hans (2001) Dendroökologische Holzanatomie. Anatomische Grundlagen der Dendrochronologie, Haupt Verlag, Bern.

Speer James H. (2011) Fundamentals of Tree-Ring Research, The University of Arizona Press, Tucson.

Suter Peter J. (2017) Um 2700 v. Chr. – Wandel und Kontinuität in den Ufersiedlungen am Bielersee, Archäologischer Dienst des Kantons Bern, Bern.

Winiger Josef (1989) Bestandesaufnahme der Bielerseestationen als Grundlage demographischer Theoriebildung. Ufersiedlungen am Bielersee 1, Archäologischer Dienst des Kantons Bern, Staatlicher Lehrmittelverlag, Bern.

Matthias Bolliger

Matthias Bolliger studierte prähistorische- und naturwissenschaftliche Archäologie an der Universität Basel (IPNA). In der Masterarbeit befasste er sich mit Besiedlungsdynamik und Waldwirtschaft von neolithischen Feuchtbodensiedlungen des Zürichsees auf Basis von dendrochronologisch datierten Holzinventaren. Er arbeitete für verschiedene Projekte unter anderem bei der Kantonsarchäologie Aargau, bei der Stadtarchäologie Zürich und im Dendrolabor Zürich. Seit 2014 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Archäologischen Dienst des Kantons Bern (ADB) angestellt, seit 2015 leitet er das Dendrolabor des ADB.