

Möglichkeiten und Schwierigkeiten dendrochronologischer Untersuchungen in Mittelalterarchäologie und Bauforschung

Adriano Boschetti-Maradi
& Raymond Kontic

Die Dendrochronologie ist für Mittelalterarchäologie und Bauforschung die wichtigste und vor allem präziseste aller naturwissenschaftlichen Datierungsmethoden (Dendrochronologie, Radiokarbon- oder ¹⁴C-Datierung, Archäomagnetismus).¹ Allerdings kann der Umgang mit dendrochronologischen Daten auf verschiedenen Ebenen erhebliche Schwierigkeiten mit sich bringen.

Über die dendrochronologische Methode ist an verschiedenen Stellen ausführlich berichtet worden;² daher sind im Folgenden lediglich einige wesentliche Punkte zusammengefasst: Die Dendrochronologie beruht auf der Tatsache, dass Bäume in unseren Breitengraden, in denen es verschiedene Jahreszeiten gibt, jedes Jahr einen Jahrring ansetzen. Je nach Jahreswitterung – vor allem je nach Frühjahrsniederschlag und Sommertemperatur – ist es ein breiterer oder ein schmalerer Jahrring. Allerdings beeinflusst offenbar auch die Witterung des vorangehenden Jahres das Wachstum des neuen Jahrrings. Die Forstwirtschaft, Grundwasserstände oder Schädlinge können das auf Grund der Witterung zu erwartende Wachstum verfälschen. Das Nacheinander von schmaleren und breiteren Jahrringen ergibt aber ein Muster, das an gleichzeitig gewachsenen Bäumen über weite Gebiete ähnlich ist. Die einzelnen Holzarten reagieren in ihrem Wachstum unterschiedlich auf die Witterung. Deshalb ist es notwendig, verschiedene Baumarten (Eiche, Fichte, Tanne, Kiefer, Lärche, Arve, Kastanie) getrennt zu untersuchen. Für eine Jahrringchronologie, die länger als ein Baumleben ist, wird ausgehend von rezenten Bäumen mit bekannten Fällungsdaten aus verschiedenen alten Hölzern möglichst weit in die Vergangenheit zurück eine generelle Wachstumskurve aufgebaut. Die Synchronisation der Kurven erfolgt dabei optisch auf dem Leuchttisch und rechnerisch am Computer. Sind derartige Jahrringchronologien mit mehr als einem Dutzend, besser über 50 Einzelbaumkurven aus verschiedenen Objekten belegt, spricht man von Referenzchronologien. Für jede Klimaregion (zum Beispiel Tief- und Hochlagen) oder auch für weit auseinanderliegende geographische Regionen (zum Beispiel Bayerischer Wald und Schwarzwald) sind spezifische Referenzchronologien notwendig.

Schon Leonardo da Vinci vermutete, dass die Jahrringe die Jahreswitterung widerspiegeln. Der nordamerikanische Astronom Andrew Elliptott Douglass stellte 1929 eine Jahrringchronologie für eine bestimmte Kiefernart zusammen, indem er anhand der charakteristischen Abfolge extrem schmaler und breiter Jahrringe unterschiedlich alte, sich aber zeitlich überlappende Holzproben auf einer Zeitachse zur Deckung brachte. So gelang ihm die exakte Datierung präkolumbianischer Siedlungen des 13. Jahrhunderts.³ In Europa nutzte Bruno Huber in den 1940er bis 1960er Jahren Douglass' Erkenntnisse zur dendrochronologischen Datierung. Einen wichtigen Durchbruch schaffte Dieter Eckstein mit der Datierung der Siedlung Haithabu und durch die erstmalige Verwendung computergestützter Auswertungsverfahren in den 1970er Jahren. Ende der 1970er Jahre gelang es Ernst Hollstein, für Mitteleuropa eine absolute Jahrringbreitenchronologie der Eiche bis 546 v. Chr. zusammenzustellen.⁴ Seit der Mitte der 1980er Jahre wird die Dendrochronologie in der Mittelalterarchäologie und Bauforschung in der Schweiz regelmäßig eingesetzt.

1 Vgl. dazu Stöckli 1986; Gutscher 2005.

2 Schweingruber/Ruoff 1979; Ruoff 1986; Hurni/Orcel/Orcel 1995; Hurni/Orcel/Tercier 2007; grundlegend bezüglich der Dendroökologie: Schweingruber 1993.

3 Leuenberger/Kontic 2010, 20; Stöckli 1986, 10f.

4 Hollstein 1980.

Mit der Dendrochronologie können zunächst die Fälldaten von Hölzern jahrgenau ermittelt werden. Erst präzise archäologische oder bauhistorische Beobachtungen ermöglichen eine Zuweisung von dendrochro-

Fälldatum und Baudatum



Abb. 1: Stadt Basel, Lohnhof (ehemalige Stiftsbibliothek), Dachwerk von 1440. Ständer mit römischer Nummerierung und Dachseiten-Zuordnung (quadratische Kerbe über der Ziffer). Am Riss, der das Bundzeichen gesprengt hat, zeigt sich, dass der Ständer saftfrisch verarbeitet worden ist.

nologischen Daten zu Bauwerken oder einzelnen Baumaßnahmen. Von großer Bedeutung ist der Umstand, dass die Bauhölzer in der Regel saftfrisch verbaut worden sind.⁵ Saftfrisch bedeutet, dass das geschlagene Holz innerhalb weniger Wochen verarbeitet wird.⁶ Saftfrisches Holz ist leichter zu bearbeiten als getrocknetes Holz, schwindet jedoch während der Trocknungsphase, zieht sich also zusammen. Ein Gebäude aus frisch gefälltem Holz schwindet daher nach dem Bau, es setzt sich, wodurch sich die Holzverbindungen versteifen. Das Schwinden erfolgt radial und vor allem tangential zu den Jahrringen, während das Schwindmaß in der Längsrichtung sehr gering ist. Das hat zur Folge, dass der Zimmermann bereits beim Zusägen oder Zuhauen der Bretter oder Balken die vorgesehene Verwendung zu beachten hat. Beispielsweise müssen also Türpfosten von Blockbauten „zu kurz“ eingebaut werden, damit sie nach dem Schwinden der quer verlegten Balken präzise sitzen.⁷

Bauholz wurde meistens in der saftarmen Periode der Wintermonate geschlagen. Das hat mitunter den Vorteil, dass das Schwindmaß etwas geringer und die Dauerhaftigkeit des Werkstoffs größer ist.⁸ Die Jahreszeit des Holzschlags zeigt sich anhand des letzten Jahrrings unter der Rinde. Ist das kleinporige Spätholz vollständig entwickelt, so handelt es sich um einen Herbst- oder Winterhieb. Viele der in Schwyz im 13. und 14. Jahrhundert als Bauholz verwendeten Baumstämme wurden möglicherweise im Schnee von Hand hangabwärts geschleift („Reisten“) oder in Flüssen lose geflößt („Triften“). In der Stadt Zürich wurde im 16. bis 18. Jahrhundert Bauholz verwendet, das auf dem Fluß Sihl von weither aus der Region Einsiedeln getriftet wurde. Bauholz für die Stadt Basel wurde gemäß Schriftquellen des 14. bis 16. Jahrhunderts auf verschiedenen Flüssen ebenfalls aus einem weiten Einzugsgebiet importiert, das vom Schwarzwald über den Jura bis ins Berner Emmental reicht. Die in den Städten Zürich und Basel verwendeten Bauhölzer wurden also mindestens zum Teil nicht gezielt für bestimmte Bauten geschlagen.⁹ Trotzdem wurden auch sie in der Regel frisch verbaut. Diese Tatsache kann am Bau auf verschiedene Arten wahrscheinlich gemacht werden:

- Trocknungsrisse, die beim Schwinden des Holzes entstehen, folgen bei saftfrisch verarbeitetem Holz den Bearbeitungen für Blattsassen und dergleichen. Oft liegen Kanten, die bei der Abarbeitung noch exakt fortlaufend waren, in Folge eines durchlaufenden Trocknungsrisse versetzt zueinander (Abb. 1). Wird eine Kante hingegen in trockenes Holz geschlagen (und damit über die bereits bestehenden Risse), so bleibt sie fortlaufend, oder anders ausgedrückt: Die Trocknungsrisse werden durch die Abarbeitungen „gestört“.
- Bei fast allen Holzbauten sind die Bretterböden mit sogenannten Treib- oder Keilladen ausgestattet („Schübenboden“). Die Bretter eines Bodens wurden ringsum in einen stabilen Rahmen eingenetet. Das letzte Brett, der keilförmige Treib- oder Keilladen beziehungsweise das Schübenbrett, wurde von außen durch einen Schlitz in der Fassade eingefahren (Abb. 2). Es konnte, wenn sich Spalten im Boden bildeten, „nachgetrieben“ werden und ermöglichte so, die beim Trocknen zwischen den Bohlen oder Brettern auftretenden Spalten zu schließen. Nach Abschluss des Trocknungs- und Schwindvorgangs sägte man die verbliebenen vorstehenden Reste des Treib- oder Keilladens beziehungsweise des Schübenbretts ab.¹⁰
- Holzdübel, die zur Stabilisierung von Blockbauten die übereinander liegenden Balken verbinden, können Hinweise auf den Verarbeitungszustand des Bauholzes liefern. Die vierkantigen Dübel bestehen oft aus Hartholz (Buche) und sind in vorgebohrte Löcher der Nadelholzbalken eingetrieben. Sind die Löcher in saftfrische Balken gebohrt, so schmiegen sich diese beim Austrocknen derart an die Dübel, dass die Bohrlöcher einen viereckigen Querschnitt annehmen (Abb. 3).¹¹
- Bei Bodenbalken, die saftfrisch im Massivbau eingemauert worden sind, zeigen sich bisweilen dünne Hohlräume zwischen Mauerwerk und Bal-

5 Eine dank einer Inschrift erkennbare Ausnahme stellt möglicherweise ein Blockbau des frühen 16. Jahrhunderts in Menzingen im Kanton Zug dar. Hier ist vermutlich mit der Vorfertigung zumindest einzelner Teile zu rechnen (Boschetti-Maradi/Remy 2006).

6 Der Trocknungsprozess kann mit einer feuchten Lagerung verzögert werden, zum Beispiel in einem Gewässer (Flößerei, Trift).

7 Steinmann 2008, 89 f.

8 Steinmann 2008, 93.

9 Lutz 2005; Bitterli 2008; Descœudres 2008, 54.

10 Furrer 1994, 126; Steinmann 2008, 113.

11 Descœudres 2007, 22.

12 In Einzelfällen wurde vermutlich gezielt Altholz verwendet. Diese Möglichkeit ist zum Beispiel im Steinbau bei Sturzbrettern über Fenstern oder Türen in Betracht zu ziehen. Bei diesen Hölzern ist das Schwinden des Holzes nicht erwünscht, denn dadurch entstünden Spalten zwischen Mauermörtel und Sturzbrett.

13 Binding 2009, 24–36. Ein Beispiel für Übereinstimmung von Inschrift und Dendrodatum: Boschetti-Maradi 2009.

14 Descœudres/Utz Treppe 1993, 84 f.

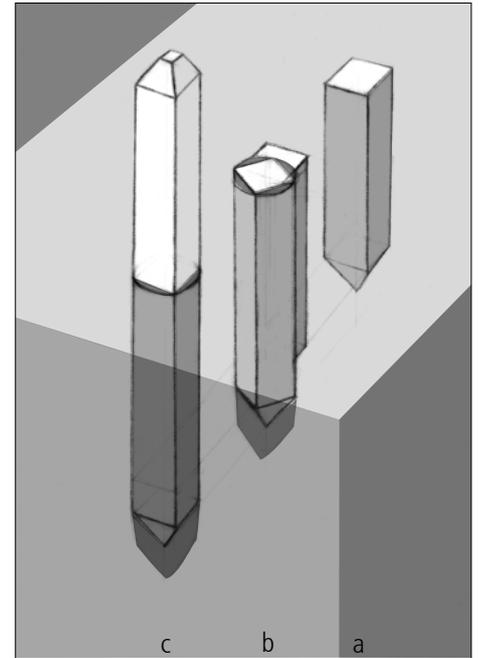
15 Descœudres 2002/03; Descœudres 2007, 65 f.



ken (Abb. 4). Sie entstehen dadurch, dass das Holz beim Trocknen mehr Volumen verliert als der Mauermörtel. Wenn das Mauerwerk nach dem Austrocknen verputzt wurde, wurden diese Hohlräume in der Regel mit dem Verputzmörtel gestopft.¹²

- Wo inschriftlich überlieferte Baudaten und dendrochronologische Daten vorliegen, ergibt sich die Möglichkeit einer Kontrolle der beiden Datierungen. Nicht immer, aber oft stimmen die Daten erstaunlich präzise überein (Abb. 5). Wenn Widersprüche bestehen, müssen beide Datierungen hinterfragt und differenziert beurteilt werden (siehe unten).¹³

In der Regel liegen die Fälldaten der Bauhölzer aus einer Bauphase im gleichen Jahr oder innerhalb weniger Jahre. Es gibt allerdings auch Fälle, bei denen nachweislich trockenes Holz verbaut worden ist und das Fälldatum nicht dem Baudatum entspricht. Wenn Altholz verbaut worden ist, ist eine zeitliche Streuung der Fälldaten zu erwarten, wie beim im frühen 14. Jahrhundert aufgerichteten Dachstuhl der ehemaligen Predigerkirche in Bern.¹⁴ Mitunter können ganze Dachstühle oder Holzhäuser ab- und an anderem Ort neu aufgebaut worden sein. Die Versetzung von Holzhäusern war im Mittelalter und in der Frühen Neuzeit nichts Außergewöhnliches und konnte bei einem Gebäude sogar mehrfach erfolgen.¹⁵ In diesem Fall datiert das Fälldatum natürlich nicht das Baudatum. Das Verhältnis von Fälldatum und Baudatum kann allein der Archäologe oder Bauforscher am Objekt beurteilen.



◁ Abb. 2: Walchwil (Kanton Zug), Dorfsrasse 17, Bauuntersuchung 2011. Das Bauholz für den Blockbau wurde gemäß dendrochronologischer Untersuchungen 1580 geschlagen. Das mittlere, keilförmige Bodenbrett in der Kammer neben der Stube ist der so genannte Treib- oder Keilladen („Schübenbrett“). Es wurde von außen durch einen Schlitz in der Fassade eingefahren, um die beim Schwinden des Holzes zwischen den Brettern entstehenden Spalten zu schließen.

△ Abb. 3: Schwyz, Haus Nideröst, Bauuntersuchung 1998/99 und 2001. Drei vierkantige Holzdübel aus unterschiedlichen Bauvorgängen, wobei sich die runden Bohrlöcher im saftfrischen Holz nur an die originalen Dübel angeschmiegt haben. a: originaler Dübel aus der Bauzeit (1176), später abgeschlagen; b: originaler Dübel, bei der Anbringung eines sekundären Dübels (zweiter Hausaufbau um 1270) angebohrt, abgeschlagen; c: beim dritten Hausaufbau im 17. Jahrhundert verwendeter Dübel.

Abb. 4: Stadt Zug, Zeughausgasse 21, Bauuntersuchung 2006. In die massiv gemauerten Fassaden wurden die gemäß dendrochronologischer Untersuchung 1525 geschlagenen Boden- beziehungsweise Deckenbalken eingemauert. Nach dem Schwinden der Balken entstanden zwischen Balken und Mauermörtel dünne Hohlräume.

Abb. 5: Baar (Kanton Zug), Gasthaus Adler in Allenwinden, Bauuntersuchung 2008. Das Bauholz für den Fachwerkbau wurde gemäß dendrochronologischer Datierung im Winter 1767/68 gefällt. An der Ausfachung zuoberst über dem Rähmbalken ist schwach die aufgemalte Jahreszahl 1768 zu erkennen (siehe Markierung). Die Jahreszahl 1888 darunter wurde unmittelbar vor einer späteren Vertäfelung der Kammerwände nach einem Besitzerwechsel 1887/88 aufgemalt.



Möglichkeiten der Dendrochronologie

Die Dendrochronologie ist oft die einzige Datierungsmöglichkeit von Holzbauten. Die archäologische Fachstelle des Kantons Zug in der Zentralschweiz beispielweise führte im Durchschnitt der vergangenen 15 Jahre jährlich sieben bis acht Bauuntersuchungen und mindestens zehn Kurzdokumentationen an Gebäuden durch. Dabei geht es vor allem um hölzerne Wohn- und Wirtschaftsbauten aus der Stadt Zug und aus ländlichen Siedlungen. Die erforschten Holzbauten stammen aus dem Zeitraum vom 14. Jahrhundert bis um 1850, wobei Gebäude des 15. und 16. Jahrhunderts am häufigsten untersucht worden sind. Seit 1985/86 werden diese Holzbauten dendrochronologisch datiert. Dabei hat sich ein Bestand an 4316 dendrochronologisch untersuchten Einzelhölzern angesammelt, von denen 3265 datiert sind und die 760 Mittelkurven bilden.¹⁶

Die dendrochronologische Methode hat für die Kunst- und Architekturgeschichte bemerkenswerte Ergebnisse gebracht, zum Beispiel die Datierung des sogenannten Plantaturms im Kloster St. Johann in Münstair (Graubünden) in die Jahre 958–960 oder einer Gruppe bestehender Blockbauten in der Zentralschweiz ins 12. bis 14. Jahrhundert.¹⁷ Die Entwicklungsgeschichte des mittelalterlichen Block- und Ständerbaus wäre ohne den Einsatz der Dendrochronologie so gut wie unbekannt. Ebenso ermöglichte die Dendrochronologie beispielsweise die Datierung der Niederungsburg Haus Meer bei Neuss am Niederrhein ins Jahr 1001 und der Pfostenbausiedlung Collettières bei Charavines am Lac de Paladru in Savoyen in die Jahre 1006–34, also fast in die gleiche Zeit. Im Fall von Collettières hätte nur anhand der 29 dort gefundenen Münzen des 10. bis 12. Jahrhunderts die sehr kurze Siedlungsdauer kaum erkannt werden können.¹⁸

Dank der jahrgenauren Datierung konnten manche Baumaßnahmen in einen zeitlichen Zusammenhang und damit in eine mögliche ursächliche Beziehung mit historisch überlieferten Ereignissen gebracht werden, etwa der Wiederaufbau der Burg Zug nach der eidgenössischen Belagerung 1352 oder Reparaturen an Burgen nach dem Basler Erdbeben 1356. Mitunter ist es auch möglich, historische Datierungen zu präzisieren oder zu differenzieren.¹⁹

Abgesehen von der absoluten Datierung bietet die Dendrochronologie weitere Möglichkeiten. Zunächst lässt sich innerhalb einer Siedlung oder an einem Bau eine relative Chronologie ermitteln, und zwar unter Umständen auch dann, wenn eine absolute Datierung nicht möglich ist. Angaben zur relativen Abfolge beziehungsweise Gleichzeitigkeit von Bauhölzern ermöglicht eine Kontrolle der bauhistorisch oder archäologisch ermittelten Bauabfolge. Des Weiteren sind auf dieser Basis Schlüsse zur

16 Boschetti-Maradi 2009, 1 f. Die erste dendrochronologische Datierung im Rahmen der Bauforschung und Mittelalterarchäologie wurde im Kanton Zug 1978 an der Burg Zug durchgeführt. Der erste Datierungsvorschlag (16. Jahrhundert) wurde nach Nachkontrollen 1986 und 1992 ins 14. Jahrhundert korrigiert (Boschetti-Maradi/Hofmann 2006, 173).

17 Seifert 1988; Descœudres 2007; Hurni/Orcel/Tercier 2007; allgemein: Renfer 1995.

18 Haus Meer: Janssen/Janssen/Knörzer 1999. Collettières bei Charavines: Colardelle 1993, 289–305.

19 Allgemein: Gutscher 2005; Wild 2011. Zur Bauphase von 1355 auf der Burg Zug: Boschetti-Maradi/Hofmann 2006.

Bautechnik, etwa zur Geschwindigkeit eines Bauablaufs, zu Planänderungen oder zu Hausversetzungen, möglich.²⁰

Wenn größere Datenserien ganzer Baukomplexe oder Siedlungen zur Verfügung stehen, sind Aussagen zur Waldnutzung und Forstwirtschaft möglich. Unter der Voraussetzung, dass das Vorhandensein von Mark, das heißt des Kerns des Baumstamms, ermittelt wird, können die unterschiedlichen Alter der gefällten Bäume verglichen werden. So kann untersucht werden, ob zu unterschiedlichen Zeiten und in verschiedenen Regionen oder für bestimmte Konstruktionen Bäume eines gewissen Alters und bestimmter Holzarten bevorzugt verwendet worden sind.

Die Hölzer der Kirche des Zisterzienserklosters Kappel am Albis im Kanton Zürich wurden mehrheitlich für die Bauphase von 1303/04 gefällt. Die Analyse der Jahrringe durch das Laboratoire Romand de Dendrochronologie zeigt, dass der Wald, in dem diese Bäume gewachsen sind, bereits 1267 massiv ausgelichtet worden ist. Vermutlich handelte es sich um einen groß angelegten Holzschlag, vielleicht für den Bau eines älteren, nicht mehr erhaltenen Teils der Klosteranlage. Die dendrochronologische Untersuchung hat in diesem Fall also Hinweise darauf geliefert, dass für die Gewinnung von Bauholz ein herrschaftlicher Forst systematisch bewirtschaftet worden ist.²¹

Mitunter versuchen Dendrochronologen kleinräumige Regionen zu unterscheiden und Wuchsorte zu bestimmen. Dieser Ansatz ist allerdings nicht Erfolg versprechend, zumal sich zeigt, dass sich regionale Referenzchronologien aus ähnlichen Höhenlagen (beispielsweise zentrales Schweizer Mittelland und Bodenseegebiet) bei zunehmender Belegdichte stark angleichen. Daher ist es auch unmöglich, auf Grund des Zuwachsmusters eine präzise Herkunftsbestimmung einzelner Hölzer vorzunehmen, wie das gelegentlich behauptet wird. Bauholz der Stadt Luzern lässt sich zwar meist mit den Referenzchronologien des Schweizerischen Mittellandes datieren, hin und wieder gelingt dies aber zuverlässiger mit Referenzchronologien aus dem Schwarzwald oder mit subalpinen Referenzchronologien. Dies hängt natürlich nicht damit zusammen, dass Luzern Holz aus dem Schwarzwald oder gar aus Österreich importiert hat, sondern damit, dass dieses Holz aus hochmontanen oder subalpinen Lagen des Einzugsgebiets des Vierwaldstättersees stammt (Flößerei) und sich der Zuwachs in höheren Lagen überregional stärker gleicht als in tieferen. Herkunftsbestimmungen von Holz bleiben also immer mehr oder weniger vage. Beispielsweise ließ sich feststellen, ab wann die Wälder in der Umgebung der Hansestädte an der Ostsee abgeholzt waren, so dass Holzimporte aus Skandinavien erforderlich wurden.²²

Schließlich sind einige archäologische Fundkomplexe nur anhand von dendrochronologischen Untersuchungen datiert. Das ermöglicht Erkenntnisse zur typologischen Entwicklung von Funden. Mitunter erweisen sich die Zwischenböden von Häusern als außerordentlich fundreich. Rund zwei Drittel aller archäologischen Münzfunde im Kanton Zug stammen aus Häusern. Die dendrochronologisch ermittelten Baudaten der Häuser oder der einzelnen Böden liefern für den frühest möglichen Verlustzeitpunkt dieser Funde einen willkommenen *terminus post quem*. Bei Fundmünzen, die älter als das dendrochronologische Datum sind, ergeben sich Hinweise zur Mindestdauer ihres Umlaufs, was für geldgeschichtliche Untersuchungen interessant ist.²³

Gerade weil die Dendrochronologie für Mittelalterarchäologie und Bauforschung so wichtig ist, müssen mögliche Schwierigkeiten dieser Datierungsmethode im Auge behalten werden. Dendrochronologische Fehldatierungen können weitreichende Folgen haben, wenn sie allzu lange unerkant bleiben. Dabei geht es nicht „nur“ um für Archäologie und Architekturgeschichte relevante chronologische Probleme. Dendrochronologische Datierungen beeinflussen auch denkmalpflegerische

20 Zahlreiche Beispiele aus der Burgenforschung in der deutschsprachigen Schweiz bei Wild 2011. Ein weiteres Beispiel ist die Datierung der ersten beiden Bauphasen der Burganlage Belfort in Graubünden in die Jahre 1229 und 1233, also mit nur fünf Jahren Abstand (Seifert 2007). Zum Problem des Versetzens von Häusern: Descœudres 2002/03.

21 Hurni/Orcel/Orcel 1995, 453. Im Gegensatz dazu Überlegungen zur Nutzung von Allmendwald: Descœudres 2007, 82–84; Descœudres 2008, 55.

22 Westphal 2002; allgemein Hurni/Orcel/Tercier 2007, 115; Descœudres 2008, 54.

23 Boschetti-Maradi 2009, 10–12; Boschetti-Maradi/Doswald/Moser in Druckvorbereitung.

Schwierigkeiten der Dendrochronologie

Entscheide, die unter Umständen den Verlust historischer Bausubstanz zur Folge haben.

Eine Überprüfung der dendrochronologischen Datierungen, die das Amt für Denkmalpflege und Archäologie des Kantons Zug 1985–2010 veranlasst hat, hat zu bemerkenswerten Resultaten geführt. Im Rahmen der Überprüfung wurden die Daten von drei verschiedenen dendrochronologischen Laboren untersucht,²⁴ wobei diese nicht in jedem Fall – wie eigentlich erforderlich – Einzelkurven und Originalproben abgeliefert haben, sondern in Einzelfällen nur die Mittelkurven. Demnächst sollen alle Einzelkurven und Originalproben zur Verfügung stehen, so dass die Überprüfung auf einer tragfähigen Basis abgeschlossen werden kann. Es ist deshalb als Zwischenergebnis zu werten, dass bei insgesamt 677 erneut untersuchten Mittelkurven 67 % der Datierungen bestätigt werden können. Dank einer inzwischen breiteren Datenbasis wurden 70 vor allem ältere, undatierte Messungen nachdatiert.²⁵ Je nach Labor erwiesen sich allerdings rund 5 % der Mittelkurven als fragwürdige oder sogar falsche Datierungen (im Einzelfall auch ein Drittel!). Das Problem unzuverlässiger dendrochronologischer Datierungen existiert weltweit. Einerseits ist die Berufsbezeichnung „Dendrochronologe“ nicht geschützt und andererseits gibt es methodische Unterschiede und keine allgemein anerkannten Normen. Es ist also in jedem Fall mit einem Bestand an fragwürdigen oder falschen Datierungen zu rechnen. Sie können ihre Ursachen in allen Arbeitsschritten der dendrochronologischen Untersuchung haben. Die Fehlerquellen lassen sich nachträglich nur dann ermitteln, wenn das dendrochronologische Labor seine Arbeit minutiös dokumentiert.

Probeentnahme

Eine dendrochronologische Untersuchung ist nur im Zusammenhang mit einer Bauuntersuchung sinnvoll. Bei der Probeentnahme ist zunächst darauf zu achten, mit welchen Bauphasen und Baumaßnahmen die Hölzer und damit deren Daten in Verbindung zu bringen sind. Die beprobten Hölzer sind sowohl vom Dendrochronologen wie auch vom Bauforscher oder Archäologen mit einer Liste und auf Plänen genau zu dokumentieren. Jedes Einzelholz muss dahingehend untersucht werden, ob es Spuren einer sekundären Verwendung oder eines nachträglichen Einbaus trägt. Je kürzer der zu beprobende Balken ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass derartige Hinweise nicht erkannt werden können. Namentlich beim Fachwerkbau ist – im Gegensatz zum Blockbau – bisweilen nur schwer oder nicht zu erkennen, ob einzelne kurze Balken in sekundärer Verwendung oder nachträglich eingesetzt worden sind.

Auch aus dendrochronologischer Sicht sind Vorabklärungen nötig, um sicherzustellen, dass die Voraussetzungen für eine Datierung gegeben sind. Es ist eine Artenbestimmung der Hölzer vorzunehmen, da ja nur Hölzer derselben Art miteinander verglichen werden können. Die Hölzer sollten über genügend Jahrringe verfügen. Je länger die Jahrringfolge, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit einer Datierung.

Noch wichtiger ist es, dass – sofern vorhanden – nur Hölzer mit Waldkante (Jahrring unter dem Kambium) beprobt werden, denn einzig und allein der Jahrring unter dem Kambium datiert das Fälldatum. Bei einigen Holzarten (Eiche, Kiefer, Lärche) ist das Splintholz, das heißt das physiologisch aktive Holz unter dem Kambium, erkennbar. Da es beispielsweise bei Eichen in 95 % aller Fälle weniger als 33 Jahre misst, sind approximative Aussagen zum Fälldatum möglich.²⁶ Bei Kiefern und Lärchen ist die Anzahl der Splintholzringe sehr variabel, sogar innerhalb desselben Baumes, weshalb eine Eingrenzung des Fälldatums nicht zuverlässig vorgenommen werden kann. Bei den oft als Baumaterial verwendeten Tannen- und Fichtenhölzern ist das Splintholz nicht zu erkennen.²⁷

Möglichst umfangreiche Datenserien sind in jedem Fall anzustreben, einerseits um die Einheitlichkeit des Ensembles zu bestätigen und andererseits um die Sicherheit der rechnerischen dendrochronologischen

24 In der Schweiz gibt es zehn dendrochronologische Labore, wovon die Hälfte private Institutionen sind.

25 Für die Angaben danken wir Martin Schmidhalter, Brig/Zürich.

26 Hollstein 1980.

27 Zum Vergleich der Datenstreuung zwischen Waldkanten-, Splintholz- und Kernholzdatering siehe Schultze 2008, Abb. 38.

Datierung zu vergrößern. Letzteres hängt vor allem damit zusammen, dass Hölzer derselben Baumart, die zur gleichen Zeit in derselben Region gewachsen sind, nicht genau dasselbe Wachstumsmuster aufweisen. Individuelle Unterschiede können so reduziert werden. Pro Ensemble sollten mindestens vier bis acht Einzelproben vorliegen. Freilich setzen die zur Verfügung stehenden Ressourcen oft enge Grenzen in der Wahl einer möglichst großen Probenmenge.

Die verschiedenen dendrochronologischen Labore arbeiten zum Teil mit erheblich unterschiedlichen wissenschaftlichen Ansätzen, Methoden und Computerprogrammen. Vergleiche von Messungen verschiedener dendrochronologischer Labore an identischen Hölzern haben gezeigt, dass Abweichungen vorkommen. Diese betreffen die Zahl der Jahrringe, deren gemessene Breite und das Erkennen von Splint und Waldkante. Neben dem „Faktor Mensch“ können Unregelmäßigkeiten im Baumwuchs die Ursache sein.

Die größten Schwierigkeiten bereitet in der Regel der Mittelkurvenaufbau. Die einzelnen gemessenen Jahrringe werden pro Holzart zu Mittelkurven zusammengefügt (Abb. 6). Die Mittelung lässt unter anderem die Weiserjahre, das heißt auffällige Häufungen von besonders breiten oder öfter besonders schmalen Jahrringen, besser hervortreten. Die Chance einer Synchronisation mit datierten Referenzchronologien wird dadurch deutlich größer.²⁸ Im Idealfall geschieht der Mittelkurvenaufbau ausschließlich nach dendrochronologischen Kriterien, wobei auch hierfür Kambium bei möglichst vielen Proben ein wichtiges Hilfsmittel ist. In vielen Fällen ist die zuverlässige Synchronisation von Jahrringbreitenkurven nämlich sogar nur möglich, wenn die Waldkante erhalten ist: Wenn Kurven aus Bauhölzern, die zwar zweifelsfrei zur selben Bauphase gehören, in einer bestimmten Position eine nur halbwegs plausible Übereinstimmung erreichen, können sie nicht mit Sicherheit als synchron betrachtet werden. Erreichen sie diese halbwegs plausible Übereinstimmung aber in der Position, die auf ein praktisch identisches Fälldatum schließen lässt, so kann ein Zufallsergebnis in vielen Fällen ausgeschlossen werden (Abb. 6).

Der einfachste statistische Wert zur Korrelation von Jahrringabfolgen ist die Gleichläufigkeit. Sie sagt aus, wie viele Jahrringe zweier Sequenzen in einer bestimmten Position gleichzeitig breiter oder schmaler sind als der jeweils vorangehende Jahrring.²⁹ Eine Gleichläufigkeit von 50 % ist ein reines Zufallsresultat. Je kürzer die Sequenzen sind, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit von hohen Gleichläufigkeitswerten. Bei zehn Jahrringen ist eine Gleichläufigkeit von 100 % nicht signifikant; bei 100 Jahrringen ist eine Gleichläufigkeit von 75 % selten zufällig. Meistens wird als entscheidender statistischer Wert für die Korrelation der t-Wert angegeben. Er wird unter anderem anhand von geglätteten Wachstumskurven oder Ableitungen der Wachstumskurve erhoben und drückt aus, wie weit die entsprechenden Jahrringwerte in einer bestimmten Position auseinanderliegen. Damit werden langfristige Kurventrends geprüft. Auch hier hängt die statistische Zuverlässigkeit von der Kurvenlänge ab. Ein t-Wert von 100 entspricht einer maximalen Korrelation (vollkommen identische Kurven). Allein auf Grund von kleinen Messfehlern und minimalen Jahrringbreitenschwankungen erreichen Messreihen desselben Radius untereinander meist nur t-Werte zwischen 20 und 30 oder Gleichläufigkeiten von 80 bis 90 %. Bei Sequenzen von mehr als rund 40 Jahrringen kann ein t-Wert von über 6 als signifikant, das heißt nicht zufällig, gewertet werden. Dabei handelt es sich um einen allgemeinen, rein empirisch festgelegten Schwellenwert; je nach Berechnungsmethode und Baumart können oder müssen die Schwellenwerte auch bei 5 oder 7 angesetzt werden. Einzelkurven mit ausgeprägten Rhythmen (zum Beispiel auf Grund von Parasitenbefall) können auch in unwahren Positionen t-Werte von bis zu 8 erreichen. Als so genannt statistisch signifikant wurde hingegen

Laborarbeit: Messung, Mittelkurvenaufbau und Datierung

²⁸ Seifert 2000, 103.

²⁹ Ein empfindlicheres Maß für die Kurvenähnlichkeit ist die Gleichläufigkeit der Wuchswerte (Gleichläufigkeit der logarithmischen Differenzen der aufeinanderfolgenden Jahrringbreiten).

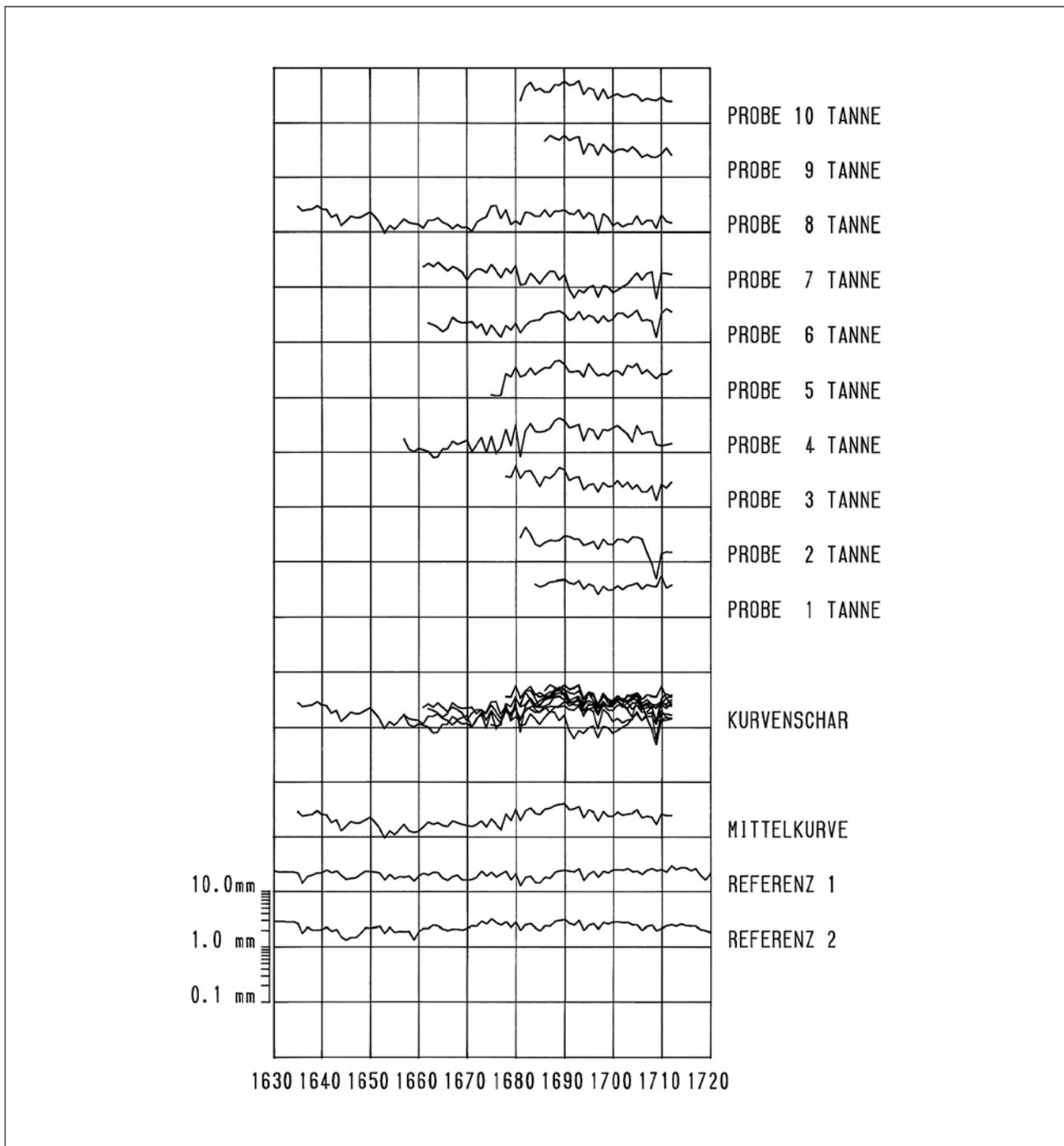


Abb. 6: Stadt Solothurn, St. Urbankapelle. Mittelkurve und Jahringbreitenkurven der zugehörigen Einzelproben aus diversen Weißtannen-Bauhölzern der Kernkonstruktion des Dachwerks (einzeln und als Kurvenschar) im Vergleich mit den Referenzen 1 und 2 („Tannenchronologie Jura 101“ und „Tannenchronologie Basel 101“ von Dendron, Büro für Dendrochronologie und Baugeschichte in Basel).

Die Proben 4, 6, 7 und 8 können mit ihren langen Jahringsequenzen auch unabhängig voneinander gegenüber den Referenzchronologien datiert werden (zweifelsfreie Datierung der Kategorie A: Die Kurven erreichen in der abgebildeten Position untereinander und gegenüber den Referenzchronologien t-Werte weit über 6, die optische Übereinstimmung ist jeweils evident). Die übrigen sechs Kurven sind grundsätzlich zu kurz für eine unabhängige, zweifelsfreie Datierung (unter 40 Jahre). Dank des auffälligen Weiserintervalls 1692–1698 entsteht

aber der dringende Verdacht auf Synchronismus (fragliche Datierung der Kategorie C). Weil die entsprechenden Kurven überdies in der Position mit identischem Endjahr (entspricht jeweils Fälldatum) die mit Abstand beste Übereinstimmung mit jenen der Proben 4, 6, 7 und 8 erreichen und in der entsprechenden Position auch gegenüber den Referenzchronologien, kann ein Zufallsresultat ausgeschlossen werden (zweifelsfreie Datierung der Kategorie B: Ein identisches oder ähnliches Fälldatum darf erwartet werden, da die Bauhölzer auf Grund der Bauanalyse zur selben Bauphase gehören). Eine Datierung der Kategorie B (Proben 1, 2, 3, 5, 9 und 10) wäre dann anzuzweifeln, wenn sich nachträglich die Indizienkette auflösen und sich beispielsweise herausstellen würde, dass ein Bauholz gar nicht zur selben Bauphase gehören kann, keine Waldkante nachweisbar ist, oder es sich nicht um Weißtanne handelt.

vor knapp vierzig Jahren ein t-Wert von nur 3,5 festgelegt!³⁰ In der Praxis treten also statistisch signifikante Ergebnisse häufig auch bei nicht gleich alten Kurven auf. Das hängt damit zusammen, dass sowohl Einzelbaum als auch Referenzchronologien aus bisher nicht genau bekannten Gründen verdeckte Rhythmen aufweisen und nicht den Gesetzen des Zufalls folgen. Die wahre statistische Sicherheit einer Datierung kann daher nie berechnet werden. Die Qualität der Datierung muss auf Grund der Erfahrung des Dendrochronologen selbst eingestuft werden und ist subjektiv.

Alle statistischen Vergleiche zwischen Kurven ersetzen nicht den optischen Vergleich der Kurven. Einzelbaumkurven weichen zum Beispiel mit abrupten Zuwachssteigerungen oder -einbußen wegen Durchforstungen vom Durchschnitt ab. Diese können am Leuchttisch als Artefakte erkannt werden. Ebenso werden am Leuchttisch Jahrringausfälle wegen Parasiten (Lärchenwickler), Krankheit oder Umweltbedingungen erkennbar. Maikäferfraß kann in regelmäßigen Abständen enge Jahrringe zur Folge haben. Auch dies kann optisch erkannt werden. Nur der erfahrene Blick des Dendrochronologen ermöglicht die Beurteilung der Weiserjahre. Weiserjahre oder ganze Weiserintervalle sind entscheidende Merkmale für eine Korrelation.³¹

Ein Argument für die Zusammenfügung von Einzelproben zu einer Mittelkurve kann – wie erwähnt – die durch die Bauuntersuchung erfolgte Gliederung nach Bauphasen sein. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn die Dendrochronologie allein kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielen kann. Oft wird in diesem Zusammenhang die berechtigte Frage nach der methodischen Korrektheit beziehungsweise nach möglichen Zirkelschlüssen zwischen Bauforschung und Dendrochronologie gestellt. Allerdings sind gerade Bauforscher und Denkmalpfleger daran interessiert, möglichst viele Bauphasen datieren zu können. Im Prinzip gleicht das Vorgehen demjenigen der für Archäologen selbstverständlichen Bearbeitung von Funden auf der Basis von stratigraphisch in eine Abfolge gebrachten Fundkomplexen. Es kann also sein, dass der Aufbau einer Mittelkurve erst mit Hilfe einer langen Indizienkette zustande kommt. Mittelkurven und die daran beteiligten Einzelholzkurven, die nicht allein nach dendrochronologischen, sondern auch aus archäologisch-bauhistorischen Überlegungen aufgebaut sind, sind nicht weniger zuverlässig als rein dendrochronologisch aufgebaute Mittelkurven. Sie müssen aber aus Gründen der Nachvollziehbarkeit als solche gekennzeichnet sein, da solche Datierungen fraglich werden, sobald ein Indiz der Kette ungültig wird (zum Beispiel eine Fehlbeurteilung bei der Bauuntersuchung oder Fehler bei einer ¹⁴C-Datierung).

Oft ermöglichen erst die Mittelkurven die absolute Datierung der Bauhölzer. Einzelholzdatierungen sind immer kritisch zu hinterfragen, denn bei ihnen können die möglicherweise atypischen Merkmale des einzelnen Baumes allzu sehr ins Gewicht fallen und das Resultat verfälschen. Außerdem sind Einzelhölzer in der Regel kürzer, umfassen also weniger Jahrringe als Mittelkurven. Ihre Datierung kann daher wie erwähnt statistisch weniger zuverlässig sein. Entscheidend für die Qualität der Datierung ist selbstverständlich die Qualität der Referenzkurve. Im Idealfall handelt es sich um eine von verschiedenen dendrochronologischen Laboren erarbeitete überregionale Referenzkurve. Die Wahrscheinlichkeit der Datierung muss mittels nachvollziehbarer statistischer Parameter zum Ausdruck gebracht werden (siehe oben).

Bei kurzen Jahrringfolgen ohne klare Signaturen ergibt sich meistens keine eindeutige Datierung, manchmal ergeben sich mehrere Datierungsmöglichkeiten. In den Berichten der Archäologie und Bauforschung werden derartige Zeitangaben nur selten als unsicher ausgewiesen, vor allem wenn sie in die archäologisch oder bauhistorisch ermittelte Chronologie passen. Mittels ¹⁴C-Intervall-Messungen mit der AMS (Accelerator Mass Spectrometry)-Methode kann dieses Problem in manchen Fällen gelöst

30 Baillie/Pilcher 1973.

31 Vgl. Hurmi/Orcel/Orcel 1995, 446f.

werden. Die AMS-Methode hat den Vorteil, dass auch kleinste Proben relativ präzise datiert werden können. Für die so ermittelten ¹⁴C-Daten ausgewählter Jahrringsequenzen kann durch den Vergleich mit dem Verlauf der ¹⁴C-Kalibrationskurve die wahrscheinlichste der dendrochronologisch möglichen Datierungsmöglichkeiten ermittelt werden. Die dendrochronologische Bewertung bleibt dabei freilich unsicher.³² Hilfreich ist die Ausweisung der Datierungsgüte jeder Einzelholzprobe in Kürzeln, wie sie erstmals André Billamboz vom dendrochronologischen Labor des Landesdenkmalamtes Baden-Württemberg vorgeschlagen hat:³³

- A für unabhängige dendrochronologische Datierung (unter anderem t-Werte über 5, oder der vom entsprechenden Labor vorgesehene Schwellenwert),
- B für sichere Datierungen die auf Zusatzinformationen basieren und
- C für provisorische Datierungen die weitere Abklärungen erfordern (Abb. 6).

Der Umgang mit den Daten und Proben

Für die baugeschichtliche Interpretation der dendrochronologischen Daten ist allein der Archäologe oder Bauforscher zuständig. Günther Binding hat die Probleme bei der Verbindung von dendrochronologischen Daten und stilgeschichtlich ermittelten oder historisch überlieferten Baudaten dargelegt, und zwar am Beispiel des Gero-Kreuzes im Kölner Dom, des Palas der Wartburg, des Westbaus des Trierer Doms, des Doms zu Worms, der Pfalz Karls des Großen in Aachen und des Grauen Hauses in Winkel. Dabei zeigt sich, dass die dendrochronologischen Daten zwar entscheidende Argumente bei der Datierung von Bauwerken sind, mögliche Widersprüche mit anderen Altersbestimmungen aber mit großer Sorgfalt zu beurteilen sind.³⁴

Was oben zur Probeentnahme gesagt wurde, trifft also sinngemäß auch für die Zuweisung der dendrochronologischen Daten zum archäologischen Befund oder Baubestand zu. Zunächst muss jedes Einzelholz vor Ort nochmals kritisch befragt werden. Ergeben sich auch nur scheinbare Widersprüche zwischen Bauforschung und Dendrochronologie, so ist der partnerschaftliche Dialog zwischen den beiden Disziplinen zu suchen. Dendrochronologie und Bauforschung haben dabei ihre eigenen Hypothesen zu hinterfragen. Im Bedarfsfall sollte ein zweites dendrochronologisches Labor hinzugezogen werden können.

Neue archäologische Untersuchungen und Bauforschungen oder neue dendrochronologische Daten können einen Rückgriff auf ältere dendrochronologische Untersuchungen notwendig machen. Ein Rückgriff ist nur dann möglich, wenn der Dendrochronologe seine Methode und alle seine Daten und Arbeitsschritte nachvollziehbar dokumentiert und die zuständige Dienststelle die Daten zuverlässig archiviert hat. Es ist daher notwendig, alle Proben wie archäologische Funde zu lagern und dendrochronologische Untersuchungsberichte einzufordern, welche nicht nur die Mittelkurven und Referenzchronologien dokumentieren, sondern auch die Messwerte und Kurvenbilder aller Einzelholzproben und die entsprechenden Zusatzdaten (genauer Fundort, Baumart, Bauholztyp, Splintholzanteil, Waldkante, Datierungsgüte etc).

Schluss

Die Dendrochronologie ist keine exakte, sondern eine Erfahrungswissenschaft. Die dendrochronologischen Untersuchungsergebnisse sind in jedem Fall als subjektive Erkenntnisse des jeweiligen Dendrochronologen zu beurteilen. Die verschiedenen dendrochronologischen Labore arbeiten mit unterschiedlichen Methoden. Es gibt in der Dendrochronologie ebenso wie in der Archäologie keine verbindlichen Standards! Aus diesen Überlegungen geht hervor, dass von seiten der Bauforschung und der Archäologie eine kritische Distanz zu den Resultaten der Dendrochronologie notwendig ist.

Manche dendrochronologischen Datierungen kommen erst durch eine Zusammenarbeit von Bauforscher beziehungsweise Archäologe

32 Seifert 2000.

33 Die Anwendung solcher Kürzel ist bisher noch nicht weit verbreitet und auch nicht einheitlich.

34 Binding 2009, 24–36.

und Dendrochronologie zustande. Sie sind deshalb nicht weniger sicher, aber aus methodischer Sicht kritisch zu beurteilen. Die dendrochronologischen Untersuchungsergebnisse müssen deshalb nachvollziehbar dokumentiert sein. Der Bauhistoriker beziehungsweise Archäologe muss die Überlegungen des Dendrochronologen zwar nicht selbst überprüfen können, aber doch zumindest seine Vorgehensweise verstehen. Eine nachvollziehbare Dokumentation schützt den Auftraggeber auch vor fragwürdigen Anbietern. Wichtig ist die Möglichkeit einer vollständigen Überprüfung durch andere Dendrochronologen. Eine Voraussetzung dafür wären ein jederzeit möglicher Rückgriff auf die Originalproben, einheitliche Datenformate und eine vollständige gegenseitige Transparenz zwischen den verschiedenen dendrochronologischen Laboren.

Aber auch Bauhistoriker und Archäologen stehen in der Pflicht: Erstens liegt es allein in ihrer Verantwortung, die dendrochronologischen Daten baugeschichtlich zu deuten. Die dendrochronologischen Daten können in keinem Fall unbesehen als Baudaten verwendet werden. Zweitens müssen sie die dendrochronologischen Daten möglichst detailliert publizieren, und zwar mit Angaben zu dendrochronologischem Labor, Datum des Berichts, Probennummer sowie vor allem zu Holzart, Waldkante (oder Splintholz) und Datierung der Einzelhölzer.

PD Dr. Adriano Boschetti-Maradi
Amt für Denkmalpflege und Archäologie des
Kantons Zug
Hofstrasse 15, CH-6300 Zug
adriano.boschetti@zg.ch

Dipl. Biologe Raymond Kotic
Dendron (Büro für Dendrochronologie und
Baugeschichte)
Murbacherstrasse 34, CH-4056 Basel
rkotic@hotmail.com

Baillie, Mike G. L./Pilcher, Jon R.: A simple cross-dating program for tree-ring research; in: *Tree-Ring Bulletin* 33, 1973, 7–14.

Binding, Günther: Methoden und Probleme bei der Datierung von mittelalterlichen Bauwerken (Sitzungsberichte der wissenschaftlichen Gesellschaft an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main 47, Nr. 3). Stuttgart 2009.

Bitterli, Daniel: Flösserei auf der Sihl zwischen der Region Einsiedeln und Zürich; in: *Der Geschichtsfreund* 161, 2008, 63–75.

Boschetti-Maradi, Adriano: Bauforschung als Wirtschafts-, Sozial- und Kulturgeschichte. Ein Wirtshaus von 1768 am Pilgerweg nach Einsiedeln; in: *Historische Archäologie* 3, 2009, 1–25 (www.histarch.org).

Boschetti-Maradi, Adriano/Doswald, Stephen/Moser, Brigitte: Bauforschung und Numismatik. Fundmünzen aus Bauuntersuchungen im Kanton Zug; in: Frey-Kupper, Susanne u.a. (Hrsg.): *Contextes et contextualisation de trouvailles monétaires (Etudes de numismatique et d'histoire monétaire 6)*. In Druckvorbereitung.

Boschetti-Maradi, Adriano/Hofmann, Toni: Der Bohlen-Ständerbau von 1355 auf der Burg Zug; in: *Mittelalter. Moyen Age. Medioevo. Temp medieval*. Zeitschrift des Schweizerischen Burgenvereins 11, Heft 4, 2006, 173–188 und Umschlag.

Boschetti-Maradi, Adriano/Remy, Heini: Ein vorgefertigter Blockbau der Zeit um 1500? Das bemalte Haus Hauptstrasse 6 in Menzingen ZG; in: *Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte* 63, Heft 2, 2006, 123–139.

Colardelle, Michel (Hrsg.): *Les habitats du lac de Paladru (Isère) dans leur environnement. La formation d'un terroir au XIe siècle* (Documents d'Archéologie Française 40). Paris 1993.

Descœudres, Georges: Von fahrenden Häusern und wandernden Siedlungen; in: *Georges-Bloch-Jahrbuch des Kunsthistorischen Instituts der Universität Zürich* 9/10, 2002/03, 7–25.

Descœudres, Georges: Herrenhäuser aus Holz. Eine mittelalterliche Wohnbaugruppe in der Innerschweiz (Schweizer Beiträge zur Kulturgeschichte und Archäologie des Mittelalters 34). Basel 2007.

Literatur

- Descœudres, Georges: Bauholz und Holzbau im Mittelalter; in: Der Geschichtsfreund. Mitteilungen des Historischen Vereins der Fünf Orte Luzern, Uri, Schwyz, Unterwalden und Zug 161, 2008, 47–62.
- Descœudres, Georges/Utz Tresp, Kathrin: Bern. Französische Kirche. Ehemaliges Predigerkloster. Archäologische Untersuchungen 1988–1990 zu Kirche und ehemaligen Konventgebäuden. Bern 1993.
- Furrer, Benno: Die Bauernhäuser der Kantone Schwyz und Zug (Die Bauernhäuser der Schweiz 21). Basel 1994.
- Gutscher, Daniel B.: Historisches Ereignis und archäologischer Befund; in: Historisches Ereignis und archäologischer Befund (Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit 16). Paderborn 2005, 9–14.
- Hollstein, Ernst: Mitteleuropäische Eichenchronologie. Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte (Trierer Grabungen und Forschungen 11). Mainz 1980.
- Hurni, Jean-Pierre/Orcel, Alain/Orcel, Christian: Ein Jahrzehnt Dendrochronologie im Dienste der historischen Bauforschung im Kanton Zürich (1983–1993); in: Zürcher Denkmalpflege 11, Bericht 1983–1986. Zürich/Egg 1995, 442–458.
- Hurni, Jean-Pierre/Orcel, Christian/Tercier, Jean: Zu den dendrochronologischen Untersuchungen von Hölzern aus St. Johann in Müstair; in: Sennhauser, Hans Rudolf (Hrsg.): Müstair Kloster St. Johann, 4: Naturwissenschaftliche und technische Beiträge (Veröffentlichungen des Instituts für Denkmalpflege an der ETH Zürich 16). Zürich 2007, 99–116.
- Jaggi, Bernard: Zeichen an Dachwerkhölzern; in: Dächer der Stadt Basel. Basel 2005, 213–221.
- Janssen, Walter/Janssen, Brigitte/Knörzer, Karl-Heinz: Die frühmittelalterliche Niederungsburg bei Haus Meer, Kreiss Neuss: archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen (Rheinische Ausgrabungen 46). Köln/Bonn 1999.
- Leuenberger, Michael/Kontic, Raymond: Jahrringe, die Geschichte schreiben; in: Kunst + Architektur in der Schweiz 61, Heft 1, 2010, 20–23.
- Lutz, Thomas: Das Bauholz: Flösserei, Provenienz, Handelsformen, Kennzeichnung; in: Dächer der Stadt Basel. Basel 2005, 115–137.
- Renfer, Christian: Die Bedeutung der Dendrochronologie für die Arbeit der Denkmalpflege und für die Landesgeschichte; in: Zürcher Denkmalpflege 11, Bericht 1983–1986. Zürich/Egg 1995, 459–487.
- Ruoff, Ulrich: Die dendrochronologische Methode; in: Chronologie. Archäologische Daten der Schweiz (Antiqua 25). Basel 1986, 19–24.
- Schultze, Joachim: Haithabu – Die Siedlungsgrabungen, 1: Methoden und Möglichkeiten der Auswertung (Die Ausgrabungen in Haithabu 13). Neumünster 2008.
- Schweingruber, Fritz Hans: Jahrring und Umwelt. Dendroökologie. Birmensdorf 1993.
- Schweingruber, Fritz Hans/Ruoff, Ulrich: Stand und Anwendung der Dendrochronologie in der Schweiz; in: Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte 36, Heft 2, 1979, 69–90.
- Seifert, Mathias: Dendrochronologische Datierung von sechs Schwyzer Bauernhäusern; in: Der Geschichtsfreund 141, 1988, 201–210.
- Seifert, Mathias: Die Kontrolle von Dendrodaten durch C14-Intervall-Messungen in Waltersburg und Triesenberg; in: Jahresbericht des Archäologischen Dienstes Graubünden und der Denkmalpflege Graubünden 2000, 103–108.
- Seifert, Mathias: Die absolute Datierung der Bauphasen der Burganlage Belfort; in: Bündner Monatsblatt 2007, Heft 5, 410–416.
- Steinmann, Jakob: Traditionelle Zimmerei. Eine Zukunft für die Vergangenheit. Waldshut-Tiengen 2008.
- Stöckli, Werner Ernst: Einleitung; in: Chronologie. Archäologische Daten der Schweiz (Antiqua 25). Basel 1986, 8–18.
- Westphal, Thorsten: Frühe Stadtentwicklung zwischen mittlerer Elbe und unterer Oder zwischen ca. 1150 und 1300 auf Grund der dendrochronologischen Daten. Mit einem Beitrag zur dendrochronologischen Untersuchung frühmittelalterlicher Burgwälle der Niederlausitz (Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 86). Bonn 2002.
- Wild, Werner: Gesägt, gebohrt, gemessen, interpretiert. Dendrochronologie in der Burgenforschung der deutschsprachigen Schweiz; in: Boschetti-Maradi, Adriano u.a. (Hrsg.): Fund-Stücke – Spuren-Suche (Zurich Studies in the History of Art 17/18). Berlin 2011, 272–291.

Abbildungsnachweis

- Abbildung 1: Raymond Kontic, Basel
 Abbildung 2: Daniel Müller, Kantonsarchäologie Zug
 Abbildung 3: Franz Wadsack, Atelier d'archéologie médiévale, Moudon und Daniela Hoesli, Kunsthistorisches Institut der Universität Zürich
 Abbildung 4: Heini Remy, Kantonsarchäologie Zug
 Abbildung 5: Markus Bolli, Kantonsarchäologie Zug
 Abbildung 6: Raymond Kontic, Basel