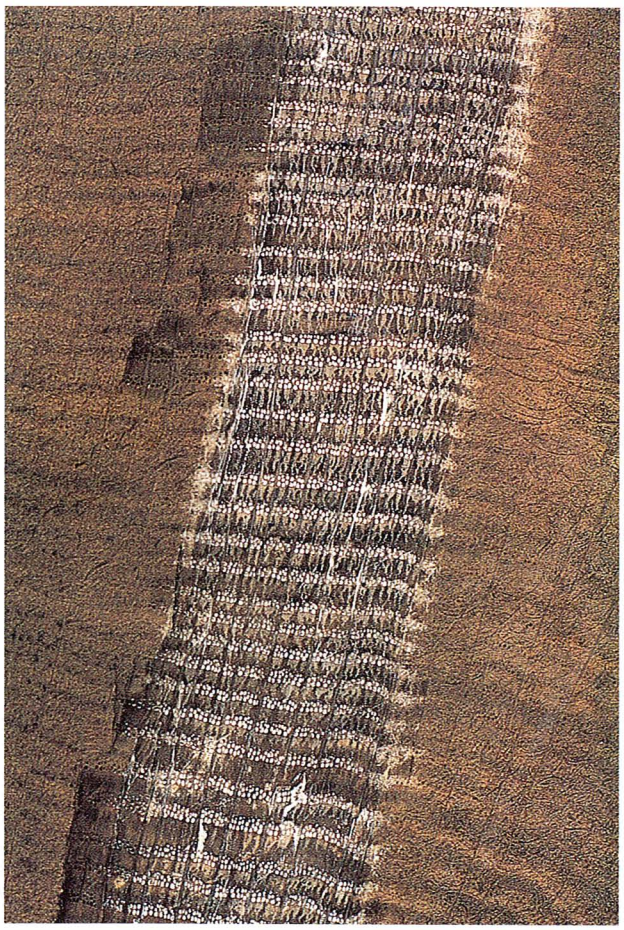
8.1 Dendrochronologie

8.1.1 Methodologische Grundlagen

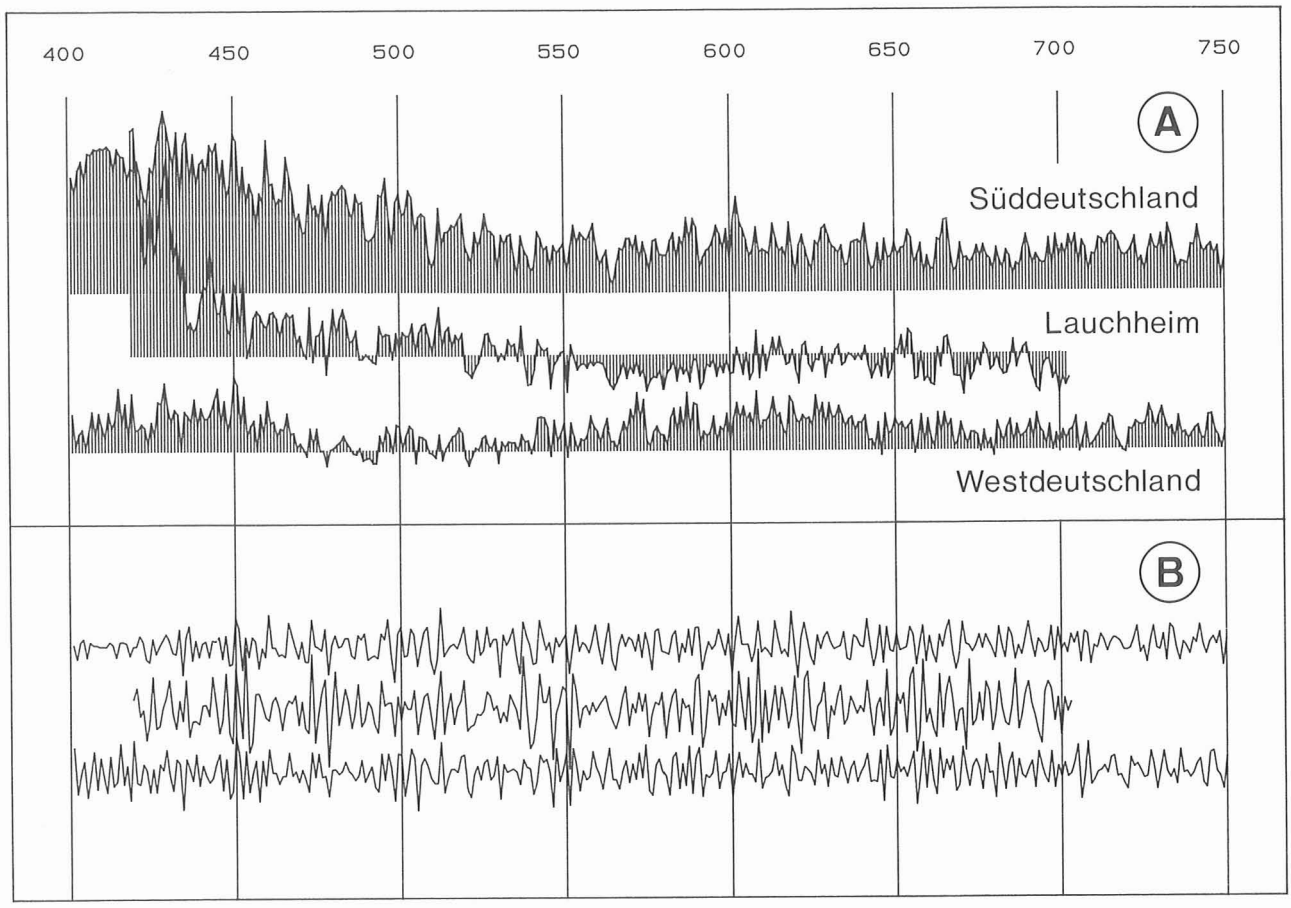
Die Dendrochronologie stellt einen jüngeren Forschungszweig der Holzbiologie dar, der sich mit den Baumringfolgen und ihrer kalendarischen Zuordnung befasst. Dies gilt vor allem für Bäume der gemäßigten Zone, wo der Radialzuwachs in jährlichen, durch die winterliche Ruhepause abgegrenzten Schichten erfolgt. Aus dem Vergleich von Jahrringmustern und ihrer Kombination in Form von Jahrringchronologien werden jahrgenaue Datierungsangaben über Wuchszeitraum, Absterbe- bzw. Schlagzeit von Bäumen sowie über weitere, ihr Wachstum begleitende Ereignisse abgeleitet. Diese Methode, die bei der Untersuchung von langlebigen Nadelholzarten des amerikanischen Südwestens durch den Astronom A. E. Douglass Anfang des 20. Jh. begründet wurde, findet heute breite Anwendung in Archäologie, Bau- und Kunstgeschichte.

Die Jahrringbildung wird vor allem von den jährlichen Witterungsverhältnissen bestimmt, wobei andere Faktoren wie eigene Baumkraft, Standort, Schädlinge und waldbauliche Maßnahmen weitere eingrenzende Wirkungen haben. Unter diesen Bedingungen entsteht im Lauf der Jahre eine Zuwachsfolge von nahezu einmaligem Charakter, die auf ihre Zeitstellung hindeutet. Nach Erfassung der Jahrringbreiten – der Holzquerschnitt wird sauber präpariert, dann erfolgt die Messung, heutzutage mittels computergesteuerter Anlage – werden die Jahrringfolgen in Kurven umgesetzt und auf ihre Deckungslage hin überprüft. Die grafische Darstellung auf einer logarithmischen Ordinatenskala – der Kurvenverlauf im niedrigen Wertbereich wird dabei hervorgehoben – erleichtert den optischen Kurvenvergleich. Dieser wird, wie bei der Auswertung von Zeitreihen üblich, durch die statistische Korrelation der tragenden Wertserien unterstützt. In diesem Verfahren werden einerseits lediglich die gleichsinnigen Kurvenverläufe als positive oder negative Wuchsänderungen berücksichtigt – dies ist der Fall bei dem Gleichläufigkeitstest oder bei der Berechnung der gemeinsamen, vom gleichen Intervalltrend geprägten Weiserjahre –, andererseits wird die Synchronisierung parametrisch geprüft, wobei z. B. der t-Test den Sicherheitsgrad des Korrelationskoeffizienten in Bezug auf die Überlappungslänge beider Serien angibt. Im zweiten Fall muss zuvor die langfristige, sinkende Tendenz des Radialzuwachses mit zunehmendem Alter – der sogenannte Alterstrend –, der die Baumringabfolgen naturgemäß prägt, durch eine passende Umrechnungsfunktion ausgeschaltet werden (Abb. 2). Zusätzlich zu der hier vorgenommenen Standardisierung, in der Dendrochronologie Indexierung genannt, muss die Korrelation von einer Normalverteilung der beiden zu vergleichenden Wertserien ausgehen, die über Logarithmenbildung optimiert wird.



1 Jahrringmuster bei Eichenholz. Die Jahrringe sind zur Verdeutlichung mit Kreidepulver eingerieben.

Nach gelungener Synchronisierung können die Einzelserien in längeren Jahrringchronologien zusammengestellt werden, die als Referenz für die Zuordnung weiterer Hölzer dienen. In Süddeutschland hat auf diesem Wege Bernd Becker eine Eichenholz-Chronologie für die letzten 10000 Jahre erarbeitet. Sein Ausgangsmaterial bildeten die Jahrringserien von zahlreichen subfossilen Eichenstämmen aus den Flussschottern an Donau, Main und Rhein. Zudem sind für das letzte Jahrtausend Chronologien für die einheimischen Nadelholzarten im Rahmen der Hausforschung und Baudenkmalpflege zusammengestellt worden. Eine folgerichtige Entwicklung besteht heutzutage in der Entflechtung dieser Standardchronologien in ein breiteres Netz regionaler Einheiten, die unter anderem stärkere Aussagekraft im Datierungsverfahren besitzen. Auf diesem Wege kann nämlich nicht nur die Korrelationsgüte einer Datierungsposition, sondern auch die mehrfache Belegung des Ergebnisses mit verschiedenen Referenzen – sogenannte Replikation – geprüft werden (Abb. 2). Die Anwendungsgrenzen des dendrochronologischen Verfahrens finden eine Erklärung im biologischen, klimatischen und ökologischen Hintergrund. Wenn die geographische Lage des Wuchsgebietes die



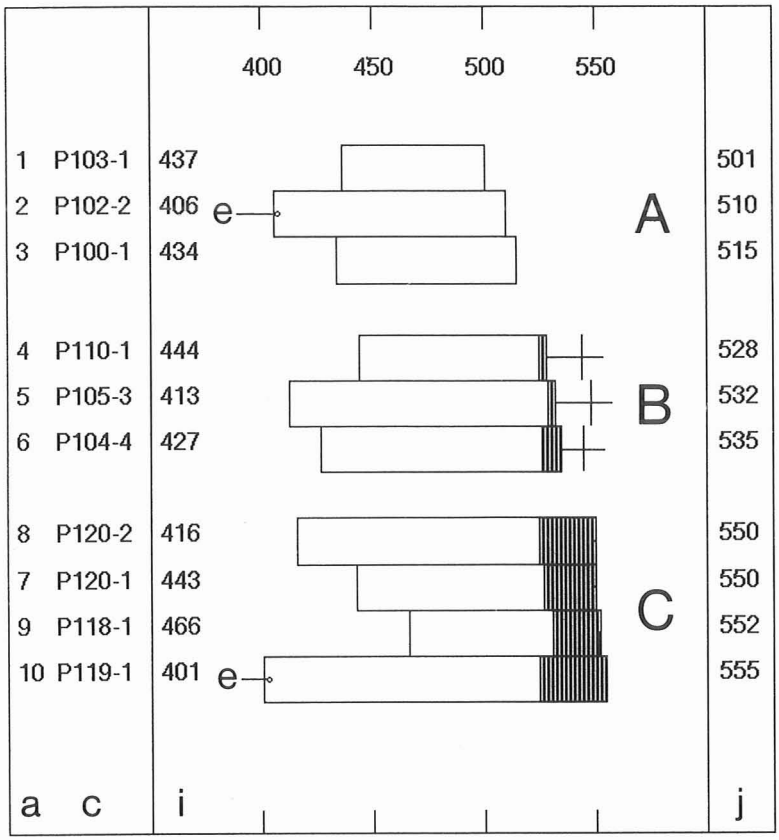
2 Synchronlage der lokalen Jahrringchronologie aus den frühmittelalterlichen Gräberfeldern von Lauchheim mit der süddeutschen und der westdeutschen Eichenchronologie (A: Darstellung der Rohwertserien mit 1 mm Ringbreite als Horizontale. B:Kurvenglättung nach Baillie und Pilcher.

Stärke des klimatischen Signals bestimmt, steht sein Empfang in direktem Zusammenhang mit der Sensibilität der Holzart und der Filterwirkung des Standortes. Die zeitlich fassbare Signalwiedergabe, die als Jahrringkurve graphisch dargestellt wird, ist vom jeweiligen Baumalter bzw. der Langlebigkeit einer Holzart abhängig. Durch die Mittelung der Einzelserien aufgrund ihrer Kurvenähnlichkeit wird mit der Unterdrückung des Individualwuchsverhaltens die allgemeine Tendenz des Wachstums verdeutlicht. Damit werden bessere Chancen zur Anpassung im datierenden Referenzmuster gegeben.

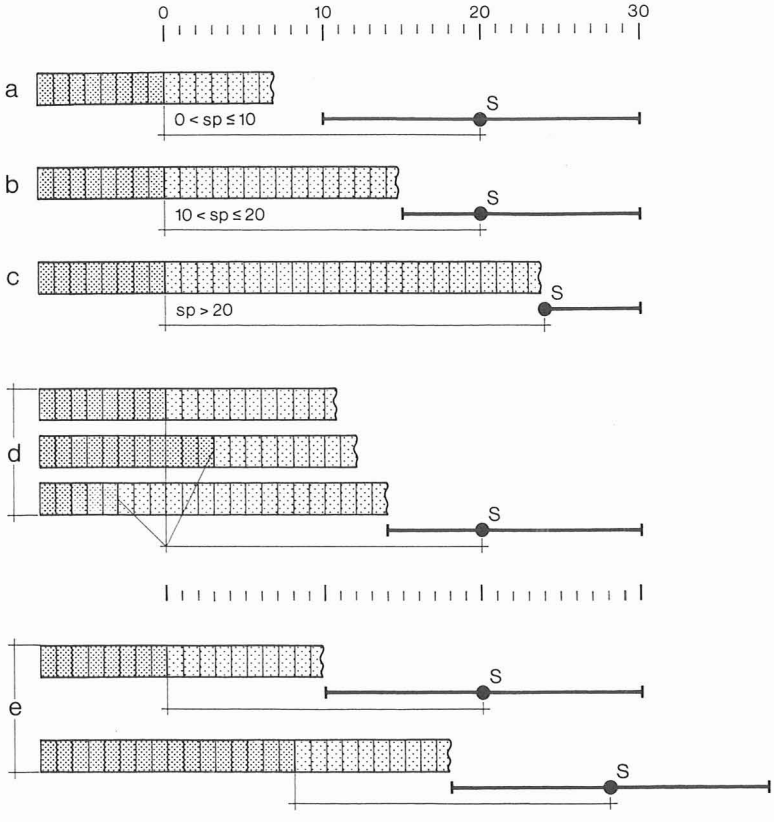
8.1.2 Angabe und Interpretation von dendrochronologischen Daten

Im Bezug auf den Erhaltungszustand der Hölzer und ihre natürliche bzw. künstliche Veränderung im Randbereich lassen sich aus dem Endjahr der betreffenden Deckungslage Datierungsangaben unterschiedlicher Qualität gewinnen (Abb. 3). Unter dem Begriff Endjahr ist hier die zeitliche Position des letzten erhaltenen Ringes einer Jahrringfolge zu verstehen. Für eine jahrgenaue Datierung muss die Waldkante vorhanden sein, der letzte gebildete Wuchsring unter der Rinde (Waldkantendatierung). Nur in diesem Fall sind die Begriffe Endjahr und Schlagjahr gleichzusetzen. Fehlt die Waldkante, muss bei seitlich abgebeilten oder erodierten Holzproben geprüft werden, ob Reste des Splintholzes vorhanden sind. Bei Holzarten mit deutlich erkennbarem Splintholz wie der Eiche kann damit die Datierung auf einen Spielraum eingegrenzt werden. Dieser wird nach einer theoretischen Rekonstruktion des Splintholzes berechnet, die sich auf das Baumalter bezieht (Splintgrenzendatierung, Abb. 4). Unter Berücksichtigung von 2700 Eichenstämmen konnte Ernst Hollstein eine Splintholzstatistik erstellen, die diese Schätzung zugrundelegt. Bei hundertjährigen Eichen beträgt das Splintholz zwischen 10 und 30 Jahresringe mit einem Durchschnittswert von 20. Besteht die Probe lediglich aus Kernholz, ist nur eine Datierung postquem möglich, die auf den frühestmöglichen Zeitpunkt der Baumfällung hinweist (Kernholzdatierung). In diesem Fall werden bei der Datierungsangabe der Endposition der Jahrringfolge 20 Jahre für die fehlenden Splintringe zugeschlagen.

Da bis in die Neuzeit hinein saftfrisches Holz für Bauzwecke verwendet wurde, kann davon ausgegangen werden, dass zwischen Holzeinschlag und Verbau keine



3 Balkendiagramm und Listing von dendrochronologisch datierten Hölzern.
A Kernholzdatierung. Frühestmöglichkeit der Baumfällung im Jahr 535.
B Splintgrenzendatierung: um 544 (Probe 4), um 548 (Pr.5), um 545 (Pr.6). Der ermittelte Datierungsspielraum für die drei Proben lautet 535–545 (Nähere Erklärung bei Abb. 4).
C. Waldkantendatierung (Vgl. g)
a Labornummer
b Fundortcode
c Grabungsnummer
d Holzart (QUE=Quercus sp., Eiche)
e Mark
f Splintanfang in der Jahrringfolge
g Waldkante. WKF=Waldkante mit Frühholz, WKS=Waldkante mit Spätholz, WKX=Waldkante ohne weitere Bestimmung, WK?=Waldkante fraglich.
i Anfangsjahr der Jahrringfolge
j Endjahr der Jahrringfolge



4 Erklärung zur Splintgrenzendatierung bei der Rekonstruktion eines Splintholzes von 20 +/10 Ringen.
a–c Festlegung des Datierungsspielraumes bei Einzelproben in Bezug auf die Anzahl der erhaltenen Splintringe (= sp).
d Bestimmung des Datierungsspielraumes von dicht beieinanderliegenden Kern-Splintholzgrenzen. Zur Berechnung wird von der mittleren Grenzenposition ausgegangen. Diese Methode wird vor allem für kleine, geschlossene Probenserien (z. B. Grabkammer) angewendet.
e Bei weiter auseinanderliegenden Positionen der Kern- Splintholzgrenze (Abstand > 5 Jahre) wird der jeweilige Datierungsspielraum getrennt angegeben.

lange Lagerung stattfand. Eine Eichung der Schlagdaten ist in diesem Sinne nicht notwendig. Wenn die vorhandenen Holzarten und der Erhaltungszustand für die Datierung maßgebend sind, steht die Aussagequalität der letzteren ebenfalls in direktem Zusammenhang mit Wahl und Anzahl geeigneter Proben und Sorgfalt der Probenentnahme (siehe 8.2).
Der Anwendung des dendrochronologischen Verfahrens als relativer Vergleichsmethode sind oft Grenzen gesetzt, die unter Berücksichtigung von Probenkontext bzw. Befundsituation übergangen werden können, ein Vorgehen, das die Unabhängigkeit der Dendrochronologie als Datierungsmethode in Frage stellt. Diese Gefahr ist bei der Anwendung in Archäologie und Bauforschung besonders groß, aber die Selbständigkeit der Methode sollte weiterhin angestrebt werden. Dieser Sachverhalt führt aus methodologischer Sicht zu einer zweistufigen Strategie. Die aussagekräftigen Proben werden in erster Linie rein dendrochronologisch und, wenn erforderlich, mittels weiterer unabhängiger Analysen wie ^{14}C-Messungen untersucht. Die anderen, oft ringarmen Proben bzw. dendrochronologisch schwierigen Holzarten sind meist nur unter Berücksichtigung der Befundsituation oder Durchführung von Parallelanalysen zu datieren. Diese Doppelstrategie lässt sich im Rahmen von systematischen, mit ausreichenden Probenserien belegten Untersuchungen vereinbaren. Eine genormte Grenze zwischen beiden Probenkategorien ist nicht pauschal festzulegen, sondern ihre Gliederung wird vor allem vom dendrochronologischen Forschungsstand im Arbeitsgebiet bzw. von der Verfügbarkeit von Regional- und Lokalchronologien abhängen. Es versteht sich von selbst, dass der Aufbau des Referenzmaterials allein auf die erstgenannte Kategorie Bezug nehmen sollte. Eine weitere Interpretation der Dendrodaten aus archäologischer Sicht verlangt ebenfalls eingehende Bearbeitung der Befunde bzw. enge Zusammenarbeit zwischen Dendrochronologie und Archäologie.

8.1.3 Über die chronologischen Aspekte hinaus

Über die rein chronologischen Aspekte hinaus spielt die Dendrochronologie eine bedeutende Rolle in der siedlungsarchäologischen Forschung. Wie am Beispiel der prähistorischen Pfahlbausiedlungen des nordalpinen Raumes bereits mehrmals illustriert, kann die flächige Untersuchung der Pfahlfelder präzise Marken zur Entstehung und Bauentwicklung der Dorfanlagen liefern. In der logischen Fortsetzung dieser Arbeiten, die ohnehin auf chronologischer Sortierung reich belegter Probensätze beruhen, gibt die dendrotypologische Analyse als Klassifikationsversuch des Bauholzes die Möglichkeit, die beanspruchten Wälder nach Bestandsstruktur und Betriebsart zu rekonstruieren. Aus der Häufung der Schlagdaten in Bezug auf das Baumalter der datierten Hölzer sind ebenfalls präzise Hinweise zum Ablauf der Umtriebzeiten abzuleiten. Der Wechsel der verwendeten Holzarten im Laufe der Baugeschichte spiegelt die Veränderungen des Waldbildes im Umfeld der Siedlungen wider. Zu der damit verknüpften Frage der Holzgewinnung und deren Bezugsquellen wird eine Standortbestimmung anhand von Jahrringparametern vorgenommen, die die Sensibilität des Baumwachstums zum Ausdruck bringen, wobei die Verfügbarkeit von Vergleichsdaten aus aktuellen Beständen eine erste Voraussetzung darstellt. Für historische Zeiten sind Ausrichtung und Reichweite des Holzhandels aus den Ergebnissen der Fern- und Nahkorrelation zu ermessen. Ferner wird durch die zunehmende Vernetzung der heutigen Globalforschung eine Einbindung der datierten Serien in ein breiteres Raster von Regionalchronologien angestrebt, die für paläoökologische und paläoklimatische Rekonstruktionen herangezogen werden.

8.1.4 Probenentnahme zur Dendrochronologie

8.1.4.1 Probenentnahme und Vorbereitung zur Jahrringanalyse

Maßgebend für positive Ergebnisse dendrochronologischer Untersuchungen sind geeignete Proben, deren Selektion und Versorgung fachkundig (zumindest in Rücksprache mit dem zuständigen Jahrringlabor) durchgeführt werden müssen, und zwar unter Berücksichtigung von Parametern wie Eignung der Holzart, Anzahl der Jahrringe und Entnahmestelle im Stamm. Eine ausreichende Probenzahl ist zu empfehlen und in dieser Hinsicht sollte den zum Teil vernachlässigten Holzarten wie Buche und heimischen Nadelhölzern, die gute Voraussetzungen für dendrochronologische Untersuchungen bieten, mehr Beachtung geschenkt werden.
Im besten Fall liegt die Probe in Form einer Holzscheibe vor, wo geeignete Messstrecken zielstrebig angelegt werden können. Eine weniger destruktive Verprobungsart ist die Entnahme von Bohrkernen mittels Trocken- oder Nassbohrer, die entweder manuell oder maschinell betrieben werden. Für besondere Objekte, die keine weitere Schädigung zulassen, sind verschiedene Methoden anzuwenden: Messung am Holzkörper anhand einer Messlupe, Probenentnahme im Dünnschnittverfahren mit einer Rasierklinge, Foto- oder Videoaufnahme der Jahrringfolge mit Nachmessung im Labor.

8.1.4.2 Verprobung im Rahmen von Großgrabungen

Während einfache Datierungsgutachten mit beschränkter Probenanzahl durchzuführen sind, können die weiteren, unter 8.1.3 geschilderten Arbeitsthemen nur anhand reich belegter Probenserien im Rahmen systematischer Untersuchungen angesprochen werden. Im besten Fall ermöglicht ein Feldlabor am Grabungsort optimale Ko-

ordination der Freilegungs-, Bergungs- und Verprobungsarbeiten, ständige Kontrolle des Probenmaterials und der zugehörigen Dokumentation sowie Durchführung der Vorarbeiten zur Jahrringanalyse. Besondere Aufmerksamkeit soll der Gliederung der Holzfunde in die drei Hauptkategorien – Holzindustrie, Bauholz, Kleinhölzer als Siedlungsabfälle – geschenkt werden, die je nach vorgegebenem Schwerpunkt erst archäologisch, dendrochronologisch oder archäobotanisch bearbeitet werden sollten. Dendroproben werden hauptsächlich der zweiten Kategorie entnommen, im besten Fall nach systematischer Bestimmung der Holzart und zeichnerischer Aufnahme der Hölzer unter Berücksichtigung ihrer Bearbeitungsmerkmale. Diese Information wird die dendrochronologische Untersuchung begleiten.

8.1.4.3 Beschriftung, Verpackung und Lagerung
Eine geeignete Nummerierung der Hölzer auf der Grabung sorgt für bessere planigraphische Auswertung der Baubefunde. Feuchthölzer erfordern Beschriftung auf Hartplastikschildchen mit wasserfestem Filzstift. Der Grabungsnummer wird im Labor eine weitere Marke (Dendronummer) für die Hölzer, die zur Jahrringanalyse herangezogen werden, zugeschlagen. Ständige Kontrolle zwischen Grabungs- und Labordokumentation ist damit gewährleistet.
Vor und nach der Jahrringanalyse sind die Proben sicherzustellen. Geeignete, vor Tageslicht und starken Temperaturschwankungen geschützte Räumlichkeiten, wie sie in unterirdischen Bauten vorkommen, gewährleisten eine langfristige Lagerung der Proben. Während die Trockenhölzer keine besonderen Schutzmaßnahmen erfordern, sind die Feuchthölzer vor Austrocknungs- und Abbauvorgängen mit aller Sorgfalt zu schützen. Besonders ist auf die Textur des Tütenmaterials zu achten, die eine dichte Umhüllung des Holzkörpers ermöglichen soll. Eine zwischengeschaltete nasse Frischhaltefolie stellt eine weitere Alternative dar. Eine zu straffe Verpackung, wie sie bei der Vakuummethode vorliegt, kann Materialverlust bei der Wiederfreilegung der Probe verursachen, besonders im Splintholzbereich. Die Aufbewahrung der eingewickelten Proben in größeren Verpackungseinheiten sorgt für weiteren Schutz gegen Austrocknung und vor allem gegen Transportschaden. Auf die Zugabe von Schutzmitteln gegen Pilzbefall, die künftige Untersuchungen (^{14}C-Messung, Isotopenanalysen etc.) beeinträchtigen können, sollte möglichst verzichtet werden.

8.1.4.4 Untersuchung von verkohlten Hölzern und Holzkohlen
Während die holzanatomische Untersuchung verkohlten Materials ohne weitere Präparierung an Bruchstellen durchgeführt werden kann, macht die Erfassung der Jahrringfolge am ebenen Querschnitt eine Stabilisierung der Proben erforderlich. Anstrich bzw. Tränkung des Materials mit einer durch Aceton verdünnten Acrylharzlösung sind geeignete Methoden. Nach wenigen Minuten Trockenzeit kann die gewünschte Arbeitsebene mit feinem Sägebandblatt geschaffen werden. Als Ersatz für die zeitaufwendigere und zum Teil ungeeignete Verprobung mit Gips kann dieses Stabilisierungsverfahren direkt auf der Grabung angewendet werden, gegebenenfalls sollte jedoch vorher Material zur ^{14}C-Messung sichergestellt werden. Die Stabilisierung sorgt außerdem für bröselfreie Aufbewahrung der Proben.

André Billamboz
Landesdenkmalamt Baden-Württemberg
Fischersteig 9
78343 Gaienhofen-Hemmenhofen

Literatur:

Baillie, M. G. L.: Tree-Ring and Archaeology. Croom Helm studies in Archaeology. London 1982.
Baillie, M. G. L., Pilcher, J.: A simple crossdating program for tree-ring research. Tree-ring Bulletin 33, 1973, 7–14.
Becker, B. 1993: An 11 000-year german oak and pine dendrochronology for radiocarbon calibration. Radiocarbon, vol. 35/1, 1993, 201–213.
Billamboz, A.: Jahresringe im Bauholz. In: D. Planck. Archäologie in Württemberg. Stuttgart 1988, 515–529.
Eckstein, D. in collaboration with M. G. L. Baillie a. H. Egger: Handbooks for Archaeologists. 2. Dendrochronological Dating. European Science Foundation, 1984.
Hollstein, E.: Mitteleuropäische Eichenchronologie. Trierer Grabungen und Forschungen XI. Ph. von Zabern Verlag, Mainz 1980.
Schweingruber, F.: Der Jahrring. Paul Haupt, Bern 1973.