Zeitschrift: Zeitschrift für schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte = Revue suisse d'art et d'archéologie = Rivista svizzera d'arte e d'archeologia = Journal of Swiss archeology and art history

Herausgeber: Schweizerisches Nationalmuseum

Band: 36 (1979)

Heft: 2

Artikel: Die verschiedenen Methoden der Nassholzkonservierung

Autor: Haas, Arnold / Hug, Beat / Kramer, Werner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-167224

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

DIE VERSCHIEDENEN METHODEN DER NASSHOLZKONSERVIERUNG

1. Die Methode Lyofix DML

von Arnold Haas

Einleitung

Im Jahre 1960 konnte ich erstmals einen Bericht über die damals neue Naßholzkonservierung mit dem Produkt Arigal C publizieren[33]. Wir haben bis heute mit diesem Produkt die besten Erfahrungen gemacht (Abb. 25–27). Verschiedene Verbesserungen der Methode wurden laufend mitgeteilt[34].

Die Produzentin, die Firma Ciba-Geigy, Basel, hatte Anfang der siebziger Jahre jedoch mit Absatzschwierigkeiten zu kämpfen und mußte die Produktion von Arigal C schließlich einstellen. Gleichzeitig bot sie jedoch ein ähnliches Produkt an unter dem Namen Lyofix DML. Die damit gemachten Versuche verliefen positiv, die Methode selbst ist im großen und ganzen gleichgeblieben.

Lyofix DML ist ein Triazinharz. Chemischer Charakter: veräthertes Melamin-Formaldehyd-Vorkondensat. Spezifisches Gewicht: etwa 1,25 (25 °C). Handelsform: klare, farblose Flüssigkeit, 75%. Lagerbeständigkeit: 1 Jahr und mehr bei kühler Lagerung.

Methodenbeschreibung

Vorbehandlung

Das zu konservierende Naßholz muß mindestens 3 Tage in schwach fließendem Leitungswasser gewässert werden, um festhaftende Erde aufzuweichen und vor allem, um lösliche Salze und vorhandene Humussäure auszuschwemmen. Danach bringt man das Holz für 7 Tage in destilliertes Wasser, das täglich erneuert werden muß. Das destillierte Wasser darf auf keinen Fall zu sparsam verwendet werden; es sollte das Objekt mindestens um 10 cm überdecken. Dann wird das Holz herausgenommen und gewogen.

Konservierung

Dem Gewicht des Naßholzstückes entsprechend, wird nun eine 15prozentige Lyofix-DML-Lösung hergestellt. Die fertige Lösungsmenge muß der fünffachen Gewichtsmenge des Holzes entsprechen: 1 kg Naßholz = 5 l 15prozentige Lösung. Da das angelieferte Lyofix DML 75prozentig ist, muß zur Erreichung einer 15prozentigen Lösung 1 Teil Lyofix mit 4 Teilen destilliertem Wasser verdünnt werden. Die Lösung hat nur einen pH-Wert von etwa 8,5 (Messen mit einem pH-Meter), diese muß deshalb mit Triaethanolamin auf 9,5 erhöht werden (für 1-l-Lösung etwa 3 cm³ notwendig). Nach guter Durchmischung der Lösung wird das gewässerte Holz eingelegt (Glasgefäß). Das zu tränkende Holzstück schwimmt nun normalerweise (ausgenommen Eiche). Durch den beginnenden Austausch zwischen dem Quellwasser (Wasser im Holz) und der Tränkungslösung ergibt sich nach 8–20 Stunden ein langsames Absinken, was als erstes sicheres Anzeichen des Austausches gewertet werden kann. Der Grund dafür liegt im Unterschied des spezifischen Gewichts (Lyofix-DML-Lösung ist schwerer als Wasser). Das im Holz vorhandene Quellwasser wird langsam durch die Kapillarwirkung ausgestoßen und steigt an die Oberfläche, was optisch erkennbar ist. Dieses fast reine Wasser bildet eine Ausfällungsgefahr für die ganze Lösung. Um dieser Gefahr zu begegnen, wird diese Flüssigkeit am besten mit einem Schlauch abgesaugt. Das abgesaugte Volumen wird durch neue Lösung ersetzt. Ein tägliches Durchmischen mit einem Glasstab ist notwendig,

Abb. 25 Seeberg BE, «Burgäschisee-Süd». Grabung 1958. Cortaillodkultur. Schöpfer oder Kelle aus Maserholz von Birke, Pappel oder Weide. Länge 17,8 cm. Konserviert mit Arigal C, 1960.

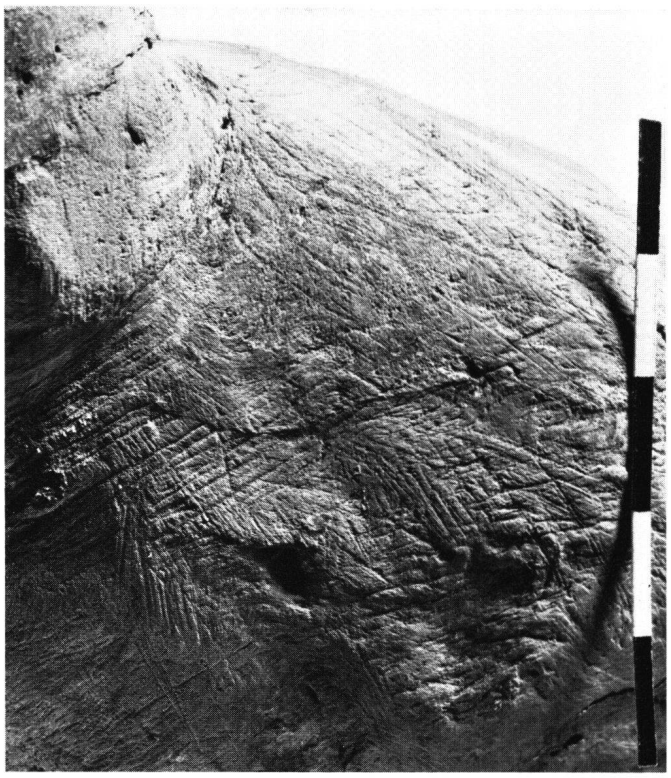


Abb. 26 Detail von Abb. 25. Gut erkennbare Bearbeitungsspuren auch nach der Konservierung.

wobei das Holzstück, um Verletzungen zu vermeiden, kurzfristig aus dem Glas gehoben wird. Nun läßt man das Holz so lange in der Lösung, bis der von selbst sinkende pH-Wert 8,1 anzeigt. Dieser Moment ist entscheidend, denn bei pH 8,0 fällt die Lösung aus, was einen Harzniederschlag zur Folge hat. Optisch ist die Lösung ebenfalls überwachbar. Eine starke Trübung gilt als Ausfällungsanzeichen. Sollte eine Ausfällung doch eintreten, kann man die ganze Lösung (inklusive Holz) erwärmen, um den Harzniederschlag ganz oder teilweise aufzulösen. Bedingt durch die Erwärmung wird die Lösung jedoch sehr unstabil und muß in warmem bis heißem Zustand sofort in den Ablauf gegossen werden (nach Giftgesetz zulässig!), denn beim Erkalten der Lösung ist der totale Niederschlag des Harzes sicher. – Wir verbleiben aber beim Normalfall pH 8,1. Ist dieser pH-Wert erreicht, wird zur Tränkungslösung der Katalysator Diacetin (1,3 Glyzerindiazetat) zugegeben und gut vermischt. Die Menge des Katalysators soll 10% der Trockensubstanz betragen. (Beispiel: 5 l 15%-Lyofix-DML-Lösung enthalten 5×150 g = 750 g Trockensubstanz. 10% Katalysator = 75 cm³ Diacetin.) Nach Zugabe des Katalysators wird das Holz etwa 12 Stunden in der Lösung belassen (pH-Kontrolle). Hernach wird das Holz herausgenommen und in mit destilliertem Wasser benetzten Zellstoff (zum Beispiel Babywindeln) eingewickelt. Der Zellstoff muß eng an das Holz angepreßt werden, denn bei der nachfolgenden Fixierung im Wärmeschrank (bei 65 °C) wird die Flüssigkeit oberflächenmäßig verdampft, wobei der Zellstoff die Aufgabe übernimmt, das Dampfwasser inklusive austretendes Lyofix aufzusaugen. Dadurch bleibt die ganze Holzoberfläche frei von Lyofixablagerungen. Vor dem Hineinbringen in den Wärmeschrank muß das Holz in einen Plastikbeutel gelegt und gut verknotet werden. Der Plastikbeutel bewirkt, daß sehr wenig Flüssigkeit verdunstet und das Holz wirklich in naßfeuchtem Zustand fixiert wird. Die verbrauchte Lyofix-DML-Lösung sollte jetzt verworfen werden, da sie sonst nach kurzer Zeit ausfällt.

Das Holz verbleibt nun volle 24 Stunden in dem auf 65 °C erwärmten Wärmeschrank. Dann wird das Plastikpaket mit dem Holz dem Ofen entnommen und, wenn möglich, unter einem Luftabzug (Kapelle) oder, wo dieser fehlt, im Freien ausgewickelt. Die Dämpfe riechen stark nach Formalin.

Nach etwa 2stündiger Abtrockungszeit beginnt man mit der zweiten Tränkung. Die neue Lyofix-DML-Lösung muß jetzt 25prozentig sein.

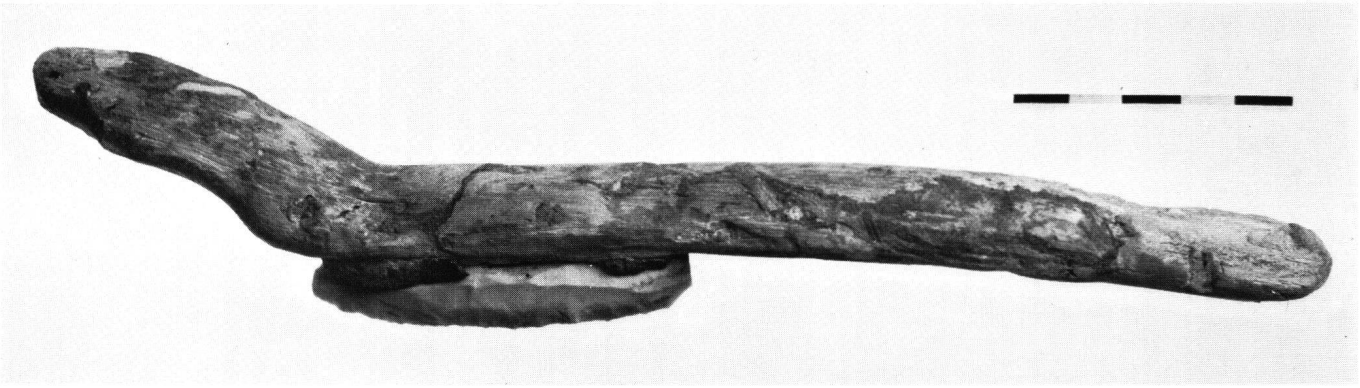


Abb. 27 Seeberg BE, «Burgäschisee-Süd». Grabung 1958. Cortaillodkultur. Langstieliges Messer aus Hasel oder Erle, darin eingekittet mit Birkenteerpech eine Silexklinge. Länge 23,5 cm. Konservierung mit Arigal C, 1960.

Beispiel:	1,6 l	Lyofix DML (1 Teil)
	3,2 l	destilliertes Wasser (2 Teile)
Total	4,8 l	(Verhältnis 1:2)

Es ist verständlich, daß auch diese neue Lösung wieder auf pH 9,5 gebracht werden muß. Der ganze Vorgang ist analog der ersten Tränkung zu wiederholen. Die Tränkungszeit kann sogar bis zu 30 Tagen dauern, da eine optimale Austauschzeit und Ausnützung der Tränkungsflüssigkeit angestrebt wird.

Bei dicken Hölzern (Durchmesser ab etwa 6 cm) ist eine dritte Tränkung notwendig, und zwar eine Innentränkung. Der Vorgang entspricht dem Arbeitsgang mit Arigal C[35].Nach der Fixierung im Wärmeschrank wird das Holz ausgewickelt, mit einer feinen Bürste oberflächig abgewischt und bei Zimmertemperatur auf einen Tisch zum Austrocknen hingelegt. Je nach der Größe des Objektes kann die Endtrocknungszeit 1–2 Monate dauern. Der Trocknungsprozeß ist durch Gewichtskontrolle auf der Waage feststellbar (Gewichtsverlust).

Nachbehandlung

Eine Nachbehandlung ist nicht unbedingt erforderlich. Um einer Verletzung der nicht sehr harten Oberfläche vorzubeugen, kann jedoch ein transparenter Seidenglanzlack (Herbol), ein Wachs oder dergleichen aufgetragen werden. Dadurch wird gleichzeitig auch die nach der Lyofix-DML-Konservierung sehr helle Oberfläche des Holzes etwas nachgedunkelt. Wichtig ist allerdings, daß das Holz auch nach der Konservierung saug- und quellfähig bleibt, weshalb von wasserlöslichen Einfärbemethoden abzuraten ist. Quellerscheinungen bewirken Querhaarrisse. Im allgemeinen ist festzuhalten, daß die helle und saugfähige Oberfläche des Lyofix-DML-konservierten Holzes zahlreiche Möglichkeiten kosmetischer Nachbehandlung offenläßt.

Grenzen der Methode und spezielle Probleme

Die Holzart des zu konservierenden Objektes spielt keine Rolle. Einleuchtend ist, daß bei großporigen Hölzern der Austausch schneller vor sich geht als bei engporigen. Angekohltes Holz, Einwüchse von Ästen oder vorhandene Rinde stellen keine Probleme bei der Konservierung mit Lyofix DML. Auch Steine (Silex), Knochen, Leder oder Metall, die mit dem Naßholz verbunden sind, können problemlos mitkonserviert werden.

Die Formtreue (Naßzustand zu Trockenzustand) ist gut, mit leichten Unterschieden, je nach Holzart. Die Lyofix-DML-Konservierung bewirkt eine leichte Volumenvergrößerung (bis 5%). Ab- oder entzweigebrochene Holzstücke passen auch nach der Konservierung genau auf- oder aneinander und können mit einem handelsüblichen Holzleim verleimt werden. Größere Holzstücke kann man ohne Risiko dübeln. Fehlende Stellen können ohne weiteres mit Ergänzungsmaterialien (Spachtelmasse, plastisches Holz oder Kunststoffe) ergänzt werden. Die Lyofix-DML-Konservierung ist nicht reversibel, doch ermöglicht die bewahrte Saugfähigkeit des Holzes mehrere Arten der Nachkonservierung (mit Lyofix DML oder andern Produkten).

Die Gefahr der Rißbildung während der Konservierung ist außerordentlich klein. Aufgeschnittene, konservierte Rundhölzer zeigen, daß der begrenzten Eindringtiefe von Lyofix DML wegen im Innern von Hölzern mit größerem Durchmesser Abtrocknungshohlräume entstehen, was jedoch bei normalem Gebrauch der Objekte als Ausstellungs- oder Depotgut die Stabilität nicht beeinträchtigt und äußerlich auch nicht sichtbar wird.

Oberflächenverletzungen während und nach der Konservierung sind auch bei empfindlichen Objekten (bei normaler Sorgfalt in der Behandlung) nicht zu befürchten. Über den Oberflächenschutz wurde bereits gesprochen (siehe Nachbehandlung).

Alterungsverhalten

Feuchtigkeitsveränderungen oder Temperaturschwankungen unter durchschnittlichen Bedingungen in Ausstellungsräumen oder Depots beeinflussen das Holz nicht. Jedoch ist direkte Sonnenbestrahlung unbedingt zu vermeiden, da durch die Erwärmung unweigerlich Risse entstehen. – Ein Befallen von Pilzen, Insekten und dergleichen ist vom Tränkungsmaterial her (Formalin!) nicht zu befürchten.

Technologische Kriterien

Da die Konservierung mit Lyofix DML auf einem Austauschvorgang zwischen dem Quellwasser und der spezifisch schwereren Tränkungslösung beruht, kommt es vor allem auf die Art, Dichte und den Fundzustand des Holzes an. Entscheidend ist jedoch die Größe des Objektes. Das größte bisher von mir konservierte Objekt hatte ein Naßgewicht von 15 kg und maß etwa 50 × 40 × 15 cm[36] (Rohform einer neolithischen Holzschale). Bei Objekten, die diese Größe wesentlich überschreiten, ist die Konservierung mit Lyofix DML zu aufwendig. Die Erfahrungen jedoch haben bewiesen, daß bei Naßhölzern bis zu diesen Dimensionen die Eindringtiefe der Lösung und damit die Stabilität des vorhandenen Holzgerüstes den normalen Museumsanforderungen entsprechen und als sehr gut angesehen werden dürfen.

Eine nachträgliche Weiterbehandlung ist bei dieser Methode begrenzt möglich. Holzartbestimmungen können nach der Konservierung durchgeführt werden, die ^{14}C-Messungen hingegen sind wegen des angelagerten Harzes ausgeschlossen.

Wirtschaftliche Kriterien

Die Lyofix-DML-Konservierung kann von einer einzigen Person durchgeführt werden.
Die Konservierungsdauer beträgt für 1 kg Naßgewicht etwa 3 Monate.
Materialverbrauch für 1 kg Naßholz: Fr. 40.—.
Zeitaufwand für 1 kg Naßholz: 10 Stunden.
Erfolgsquote: gewährleistet 99%.
Gefährlichkeit: Feuer-/explosionssicher.
Geräteaufwand: Glasgefäße in verschiedenen Größen, Wärmeschrank mit Vakuum kombiniert, Spezialflasche für Innentränkung, Herstellungsapparat für destilliertes Wasser, pH-Meßgerät, Abzugskapelle wünschenswert.

Bezugsquellen der Chemikalien

Lyofix DML: Firma Siegfried AG, CH-4800 Zofingen, Fr. 10.—/kg.
Triäthanolamin für pH-Erhöhung: Firma Siegfried AG, CH-4800 Zofingen, Fr. 7.50/kg.
Diacetin (Katalysator): Firma Fluka AG, CH-9470 Buchs, Fr. 52.—/l.

2. Die Methode Arigal C

von Beat Hug

Einleitung

Die Beschreibung der Arigal-C-Methode erfolgt hier als Dokumentation einer modernen, aber leider nicht mehr durchführbaren Konservierungsmethode, da Arigal C nicht mehr produziert wird.

Zur Konservierung von Naßholz haben wir die von A. Haas[37] entwickelte und publizierte Arigal-C-Methode im wesentlichen nachvollzogen. Das Ziel, eine ästhetischere Oberfläche zu erhalten, glauben wir mit unseren Modifikationen weitgehend erreicht zu haben (Abb. 28–30).

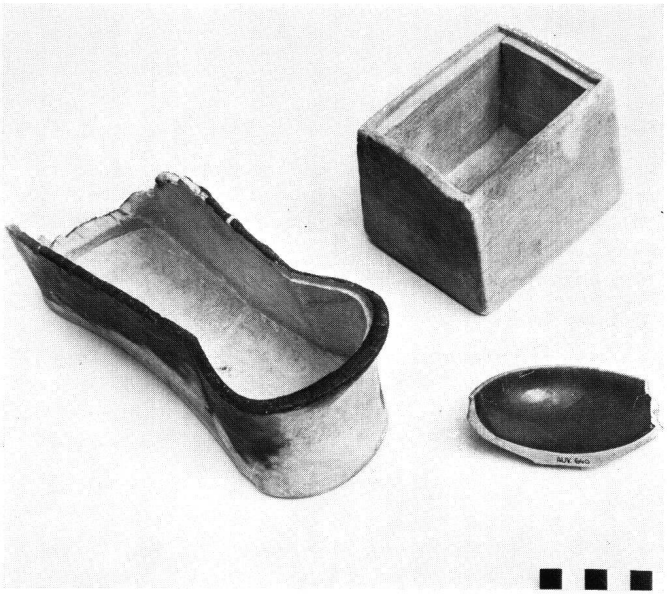


Abb. 28 Auvernier NE. Grabung 1972. Spätbronzezeit. Zwei Schachteln und eine Schale aus Ahorn, das linke Objekt ist angekohlt. Konserviert mit Arigal C, 1972.

Methodenbeschreibung

Vorbehandlung

Reinigung mit der Dusche oder Wasserpistole unter Zuhilfenahme von weicher Bürste oder Pinsel.

Dokumentation: Karteikarte ausfüllen, messen, wägen und photographieren oder zeichnen.

Wässerung: einlegen der Hölzer in etwa 60 °C warmes, entsalztes Wasser. Während mindestens zwei Wochen wird das Bad alle zwei Tage durch gleich warmes Frischwasser ersetzt; dabei müssen die Objekte, die eine schleimige Oberfläche bekommen haben, jedesmal neu gereinigt werden.

Idee: durch das Einlegen der kalten Hölzer in ein warmes Wasserbad wird durch die Temperaturdifferenz eine bessere Auslaugung, das heißt Entfernung der eingelagerten Fremdstoffe, erreicht. Schäden durch das heiße Wasserbad konnten keine beobachtet werden.

Konservierung

Nachfolgend wird die Behandlung während der 15tägigen Arbeitswoche phasenweise beschrieben. Der Konservierungsablauf wurde während der zwei Wochenenden (Samstag/Sonntag) unterbrochen.

1. Montag der ersten Woche: Nach mindestens zwei Wochen Wässerung werden die Hölzer ein letztes Mal in ein etwa 80 °C heißes Wasserbad eingelegt. Nach kurzer Zeit, wenn die Hölzer die Wassertemperatur angenommen haben, werden sie dem heißen Bad entnommen, abgetrocknet und auf Zellstoff gelegt, damit das Oberflächenwasser abdampfen kann. Um ein zu starkes Austrocknen zu vermeiden, werden die Hölzer nach ca. 5 Minuten in Kunststoffbeutel verpackt, wo sie bis zum Einlegen in die Arigallösung erkalten.

Idee: Nach dem kontrollierten Antrocknen der Oberfläche kann die Arigallösung direkt, also unverdünnt, in diese Zone eindringen.

2. Arigallösung. Zur Tränkung wird etwa die dreifache Lösungsmenge des Naßholzgewichtes benötigt. (Die genaue Menge ergibt sich aus dem Inhalt der verwendeten Badgefäße.) Die von uns verwendete 16prozentige Badlösung wird in bekannter Art hergestellt: 200 g Arigal C werden in einem Liter entsalztem Wasser in einem Erlenmeyerkolben durch Erwärmen auf maximal 75 °C und durch Umrühren gelöst. Die fertige Lösung ist wasserklar.

3. Die frische Arigallösung läßt man bis zu einer Temperatur von etwa 50 °C erkalten. Dann werden die kalten Hölzer in die warme Lösung eingetaucht, damit die ganze Oberfläche benetzt wird. Erst wenn die Objekte genügend Lösung aufgenommen haben, sinken sie.

Idee: Durch die Temperaturdifferenz findet ein schnellerer Austausch des Quellwassers mit der Arigallösung statt.

4. Dienstag, Mittwoch: Die Hölzer werden dem Bad entnommen und die Badlösung allein im Wasserbad auf etwa 50 °C erwärmt. Die kalten Hölzer kommen dann wieder in die warme Lösung zu liegen.

Idee: Wie bei 3.

5. Donnerstag: Der Arigallösung wird der Katalysator, das heißt 10% Diacetin vom gelösten Arigal C, zugemischt.

6. Freitag: Nach etwa 24 Stunden wird das Holz der katalysatorhaltigen Lösung entnommen und mit etwa 80 °C heißem Leitungswasser abgespült.

Idee: Das heiße Wasser wäscht das Arigal C aus den Oberflächenporen, womit eine Verbesserung der Holzfarbe erreicht wird. Der weißliche Arigalniederschlag kann damit vor allem bei verkohlten Objekten stark vermindert werden.

7. Die Hölzer werden in mit entsalztem Wasser angefeuchtetem Zellstoff eingewickelt und in Kunststoffbeutel eingeschweißt. Diese Pakete kommen dann über das Wochenende, das heißt während mindestens 2 Tagen, in den Wärmeschrank bei 60 °C. Die Beutel müssen absolut dicht sein, damit die Hölzer im Ofen nicht austrocknen können.

8. Montag der zweiten Woche: Die Hölzer werden aus dem Wärmeschrank genommen und unter einem Luftabzug (wegen der Formalindämpfe) ausgepackt. Die Stücke läßt man nun während etwa 24 Stunden (je nach Objektgröße) an der Luft trocknen.

9. Dienstag: Die Hölzer werden einer zweiten Tränkung unterzogen. Mit einer neu hergestellten Lösung wird der ganze vorhin beschriebene Tränkungsvorgang wiederholt. Die Badlösung bleibt aber bei der zweiten Tränkung kalt, da in heißer Lösung Risse entstehen könnten. Um ein schnelleres und besseres Eindringen zu erhalten, werden die Bäder mit den Hölzern während etwa ½ Stunde in ein Vakuum von etwa 100 Torr gebracht.

10. Donnerstagmorgen: Nach zwei Tagen Tränkungsdauer wird dem Bad der Katalysator (nur noch 5% Diacetin vom gelösten Arigal) zugesetzt. Die Hölzer dürfen noch höchstens 12 Stunden in der versetzten Lösung verbleiben, da diese dann durch die Nachwirkung des Katalysators aus der ersten Tränkung auszufällen beginnt.

11. Donnerstagabend: Entnehmen der Hölzer aus dem Bad und weiteres Verfahren wie bei Punkt 6 und 7, wobei die Hölzer dann bis zum nächsten Montagmorgen, also etwa für 85 Stunden im Wärmeschrank verbleiben.

12. Montag der dritten Woche: Wie bei Punkt 8, wobei man die Stücke jetzt aber vollständig trocknen läßt. Der Trocknungsvorgang wird ständig überwacht, wobei die Objekte zur Sicherheit über das erste Wochenende in Kunststoffsäcke eingepackt werden. Sollten sich Risse bilden, wird sofort eine dritte Tränkung gleich der zweiten angeschlossen.

13. Mit der Gewichtskontrolle, die bei der ständigen Überwachung des Trocknungsprozesses durchgeführt wird, kann bei Erreichung der Gewichtskonstanz der Abschluß des Trocknungsvorganges festgestellt werden. Der Trocknungsprozess soll bei einer konstanten Luftfeuchtigkeit von etwa 50% erfolgen.

Schlußbehandlung

Nach Abschluß des Trocknungsprozesses werden gebrochene Hölzer mit Zelluloseklebstoff (Uhu-hart) geklebt und eventuell mit einer Mischung aus Modellgips und Weißleim ergänzt.

Beschriftung der Objekte (Inventarnummer usw.).

Einwachsen der Hölzer mit in Sangayol gelöstem mikrokristallinem Wachs. Es besteht die Möglichkeit, dieses Wachs mit Farbpigmenten einzufärben, was wir aber nie praktiziert haben. Das überschüssige Wachs an der Oberfläche läßt sich mit der Heißluftpistole einziehen. Das Einwachsen muß bei der gleichen relativen Luftfeuchtigkeit erfolgen, wie sie am späteren Aufbewahrungsort der Gegenstände vorhanden sein wird. Man verhindert damit einen Feuchtigkeitsausgleich, durch den Sekundärschäden entstehen können.

Retuschieren der Ergänzungen.

Dokumentation der fertig konservierten Hölzer. Vergleich mit den Daten vor der Konservierung.

Grenzen der Methode und spezielle Probleme

Spezielle Probleme bei einzelnen Holzarten kennen wir keine. Probleme treten aber auf bei unterschiedlichem Holzabbau, wenn gleichzeitig Splint- und Kernholz vorhanden ist, bei Ästen sowie bei teilweise verkohlten Hölzern. Bei derartigen Objekten muß mit Rissen in den Dichtegrenzen gerechnet werden.

Zu konservierende Hölzer, die mit anderen Materialien verbunden sind, müssen zur Behandlung wenn immer möglich getrennt werden. Metalle, Stein, Keramik und Klebstoffe (Peche) können bedingt in die Konservierung

einbezogen werden. Es können dabei aber Farbveränderungen auftreten. Knochen und Horn sind mit dieser Methode nicht rißfrei zu konservieren. Leder, Geflechte und Gewebe verlieren ihre Flexibilität und werden in der Farbe unansehnlich, weshalb sie unter keinen Umständen in die Konservierung einzubeziehen sind.

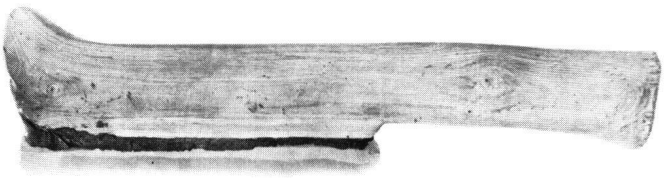


Abb. 29 Auvernier NE, «Port». Grabung 1973. Cortaillodkultur. Sichelmesser, Griff aus Eibe mit eingekitteter Silexklinge. Länge 21 cm. Konserviert mit Arigal C, 1973.

Die Dimensionstreue zum Fundzustand ist schwierig zu beurteilen, da das Konservierungsgut meistens in zerbrochenem, fragmentarem Zustand behandelt werden muß. Ein Schwund bis 4% kann in Querrichtung zum Faserverlauf auftreten. Neuerdings muß aber auch von einer Quellung bis 5% gesprochen werden. Wir konnten diese vor allem bei Weichholz in Faserrichtung verlaufend beobachten. Im allgemeinen tritt aber ein kleiner Schwund proportional in allen Richtungen verlaufend auf. Holz schwundfrei zu konservieren ist eine Illusion. Wenn der Schwund proportional erfolgt, ist dies von untergeordneter Wichtigkeit, da ja die ursprünglichen Abmessungen eines Objektes auch nicht bekannt sind.

Ein Verziehen haben wir selten beobachten können. Es tritt nicht speziell bei einzelnen Holzarten auf, sondern hängt eher mit dem Holzzustand und dem Stammsektor zusammen, aus dem das Objekt herausgearbeitet wurde.

Eine Formrückführung in den Originalzustand eines Objektes muß im weichen Fundzustand durchgeführt werden. Die starren, konservierten Hölzer lassen keine Formveränderung mehr zu.

Nichtdeformierte, zerbrochene Objekte lassen sich nach der Konservierung problemlos mit Zelluloseklebstoff (Uhu-hart) oder Weißleim zusammenfügen.

Eine Nachkonservierung, das heißt nachträgliche bessere Verfestigung der Zellstruktur müßte, wenn die Objekte nicht zu stark mit Arigal C durchtränkt sind, theoretisch möglich sein. Das eingeführte Arigal C ist aber nicht mehr herauslösbar, darum ist die Arigal-C-Methode irreversibel.

Rißbildungen in Längsrichtung sind selten, treten aber bei Dichtegrenzen (Kern-Splint) auf und sind dort praktisch unvermeidbar. Hauptsächlich bei länglichen Objekten sind oft Haarrisse in Querrichtung zum Faserverlauf zu beobachten. Dies muß mit der geringen Eindringtiefe des Arigals in Querrichtung zum Faserverlauf zusammenhängen. Das Konservierungsmittel kann praktisch nur in Faserrichtung ins Holz eindringen.

Bei sorgfältiger Anwendung der Methode sind Oberflächenverletzungen während der Konservierung minim, aber wegen der verschiedenen Manipulationen nicht ganz unvermeidbar.

Bei konservierten Objekten ist die Oberflächenverletzbarkeit gering, weshalb ein spezieller Oberflächenschutz nicht nötig ist.

Oberflächliche Ausscheidungen können bei ungünstiger Lagerung (Wärmequellen, Sonne) durch das bei der Schlußbehandlung aufgetragene Wachs auftreten.

Da die mit Arigal C konservierten Hölzer die Tendenz haben, grau-weißlich, also bleich, auszusehen, muß nach der Konservierung eine Farbverbesserung vorgenommen werden. Ein einfacher, wie in der Methodenbeschreibung erklärter Wachsauftrag ergibt eine Intensivierung der Holzfarbe. Nach Wunsch ist es möglich, diesen Wachsauftrag mit Farbpigmenten abzutönen.

Alterungsverhalten

Die Arigal-C-Konservierung haben wir in den Jahren 1971–1975 an etwa 120 Objekten durchgeführt. Die Hölzer werden jetzt bei einer kontrollierten Luftfeuchtigkeit von etwa 50% aufbewahrt. Trotz großer Temperaturdifferenzen – bedingt durch die Jahreszeiten (Winter 15 °C, Sommer bis 30 °C) – am leider nicht klimatisierten Aufbewahrungsort konnten bis heute keine Sekundärschäden beobachtet werden.

Technologische Kriterien

Das maximal konservierbare Volumen hängt von den vorhandenen Bädergrößen und den sonst zur Verfügung stehenden Installationen ab. Mit der von A. Haas[38] publi-

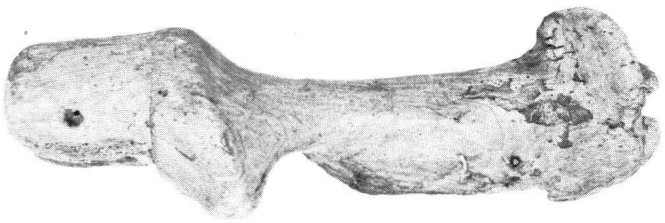


Abb. 30 Auvernier NE. Grabung 1972. Spätbronzezeit. Sichelgriff aus Holz eines Apfelgewächses (Pomoideae). Länge 17,9 cm. Konserviert mit Arigal C, 1973.

zierten Methode der unter Vakuum durchgeführten Innenträнkung ist es möglich, Objekte bis 15 kg Naßgewicht zu konservieren. Wir haben keine Erfahrung mit dieser Methode gemacht, da die von uns konservierten Objekte meist klein waren, das heißt ein Volumen von höchstens 3 kg Naßgewicht gehabt haben.

Das Eindringvermögen des Arigal C hängt weitgehend von der Form und dem Abbaugrad des Holzes ab. Bei stark abgebautem Holz und solchem mit kurzen Fasern ist das Eindringvermögen sehr gut. Im allgemeinen kann aber mit der Arigalmethode nur eine Mantelzone verfestigt werden, was meistens genügend ist, um einen Gegenstand in Form und Volumen zu erhalten.

Das Gewicht der konservierten Hölzer entspricht demjenigen der nichtkonservierten luftgetrockneten Objekte. Der Substanzverlust durch den Abbau kann durch das eingeführte Arigal nicht kompensiert werden.

Die Fragilität der konservierten Objekte hängt mit deren Form zusammen. Auch hier gilt der Grundsatz, daß Museumsobjekte nicht in die Hände von irgend jemandem gegeben werden dürfen!

Die nachträglichen naturwissenschaftlichen Weiterbearbeitungsmöglichkeiten, das heißt Bestimmung der Holzart und der Holzanatomie, sind an anderer Stelle dieser Gesamtpublikation besprochen.

Die dendrochronologische Messung zur Altersbestimmung ist möglich, hingegen kann die ^{14}C-Analyse nicht mehr durchgeführt werden. Da Arigal C nicht mehr produziert wird, ist eine weitere Entwicklung dieser Methode ausgeschlossen. Es müßte aber möglich sein, den Konservierungsablauf auf die Ersatzmethode (das heißt die Lyofixmethode) zu übertragen. Siehe den obigen Aufsatz von A. Haas.

Wirtschaftliche Kriterien

Als minimaler Zeitaufwand für die Konservierung mit Arigal C muß mit 3 Monaten gerechnet werden.

Der Materialpreis für die Konservierung von 1 kg Naßholz betrug 1975 im Durchschnitt Fr. 50.—. Der Arbeitsaufwand für die gleiche Holzmenge ist unterschiedlich, entsprechend dem Zustand und der Art des Objektes. Es darf aber bei individueller Bearbeitung als Minimum ein halber Arbeitstag angenommen werden.

Über die Erfolgsquote der Methode dürfen wir mit der Erfahrung von mehr als 120 konservierten Objekten sagen, daß wir bei keinem einen Mißerfolg hatten. Es traten vereinzelt Risse auf, die aber problemlos zu restaurieren waren. Das Auftreten dieser Risse war fast nie voraussehbar, weshalb kein gültiges Rezept zur Vermeidung derselben gegeben werden kann.

Die technisch notwendigen Einrichtungen zur Konservierung mit Arigal C sind bescheiden. Im Prinzip genügen entsprechende Badgefäße und ein Wärmeschrank.

Es besteht weder Feuer- noch Explosionsgefahr, hingegen sollte gegen gesundheitliche Schädigungen ein Luftabzug zur Evakuation der Formalindämpfe vorhanden sein.

Bezugsquellen der Chemikalien

Arigal C: Ciba-Geigy, Basel.
Diacetin (Katalysator): Haarmann & Reimer GmbH, D-4350 Holzminden.
Mikrokristallines Wachs 74/76 °C, Typ LM65: Interwax & Plastic AG, Zürich.
Uhu-Hart (Klebstoff): Drogerie.

3. Die Alkohol-Äther-Harz-Methode

von Werner Kramer

Einleitung

Anstoß zu dieser am Schweizerischen Landesmuseum praktizierten Naßholz-Konservierungsmethode gab uns B. Brorson-Christensen vom Dänischen Nationalmuseum in Kopenhagen vor rund 30 Jahren. Ein reiches Fundmaterial neuer Grabungen drängte seit 1950 zur Eigenentwicklung der Methode sowie der sich ergebenden baulichen und apparativen Einrichtungen. 1951 erschien die willkommene Publikation von B. Brorson-Christensen[39]. 1967 berichtete das Landesmuseum erstmals über die Erfahrungen mit seiner Alkohol-Äther-Harz-Methode[40]. Die Methode mußte im wesentlichen nicht verändert werden, und in der rund 30jährigen Beobachtungszeit haben sich Alkohol-Äther-Harz-konservierte Objekte bewährt (Abb. 31–33).

Methodenbeschreibung

Vorbehandlung

Nach dem photographischen Festhalten des Eingangszustandes, zusammen mit der Originalbeschriftung und der Notierung des Naßgewichtes eventuell mit Maßskizzen oder in wichtigen Fällen einer Abformung, kommen die Objekte in ein oxidatives Bleichbad. Pro Liter Wasser werden 4 cm³ konzentrierter Ammoniak und 4 cm³ Perhydrol (konzentriertes, etwa 30prozentiges Wasserstoffsuperoxid) zugesetzt und geben eine Bleichflotte, in der die

Hölzer in wenigen Tagen ihre dunkelfärbenden Fremdstoffe verlieren und ihre typische Eigenfarbe zurückerhalten. In der Regel genügen hierzu ein- oder zweimaliges Erneuern des Bades. Der erfahrene Restaurator erkennt den Endpunkt der Behandlung und läßt es nicht zur Faserschädigung kommen. Nach einem Spülbad in entsalztem Wasser sind die Objekte zur Entwässerung bereit.

Die Entwässerung

In eigens dafür hergestellten Bassins aus Aluminium mit einlegbaren und mit Latex-Gummimilch dicht verschließbaren Glasdeckeln, die in einer Ecke ein Loch (Durchmesser 20 mm) zum Füllen und Entleeren aufweisen, beginnt die Entwässerung mit Äthylalkohol. Wir beziehen diesen als 100prozentigen Industriesprit (Alkohol absolutus mit 2% Methyläthylketon denaturiert).

Die Praxis hat gezeigt, daß die aufsteigende Alkoholreihe, wie sie zur schonenden Entwässerung in der mikroskopischen Technik üblich ist, nicht auf die Naßhölzer übertragen werden muß.

Statt etwa bei 30 Vol.-% zu beginnen, kann schadlos mit 70- bis 80prozentigem Alkohol begonnen werden. Ein solcher fällt bei der Entwässerung ohnehin zur Zweitverwendung an.

Die Dauer der einzelnen Alkoholbäder ist abhängig von Holzart, Abbaugrad und Dimension des Objektes. Sie beträgt bei etwa 5fachem Badvolumen und normaler Raumtemperatur 3–6 Wochen. Zur Kontrolle der Diffusion Alkohol–Wasser wird mit der Senkspindel (Alkoholmeter), die ein direktes Ablesen der Vol.-% erlaubt, gemessen. Bleibt nach durchschnittlich 4 Badwechseln der Meßwert bei mindestens 99 Vol.-%, kann der Alkohol mit Äther (Diäthyläther Ph.H.V.) ausgetauscht werden.

Dies geschieht in den nämlichen Bassins in einem Nebenraum, der zusätzliche Sicherheitsinstallationen enthält, insbesondere gegen das Entstehen von statischer Elektrizität. Es sind Gefäße aus Aluminium zu verwenden, um die gefährliche Peroxydbildung des Äthers zu vermeiden.

Der Austauschvorgang Alkohol–Äther wird auf einfache Weise kolorimetrisch kontrolliert (in 3 Stufen eingeteilt). Der Farbstoff Rhodamin B ist in Alkohol rotfärbend löslich, dagegen nicht in reinem Äther. Bleibt nach etwa 4 Badwechseln und einer Zeitdauer von 3–5 Wochen die Ätherprobe nach Zugabe von Rhodamin B ungefärbt, kann der Äther durch die Harzlösung ersetzt werden. Die Harzlösung stellt uns heute nach unserem Rezept eine eidgenössische Pulverfabrik her.

Die Rezeptur lautet: Pro Liter Äthyläther 250 g Dammar elect. Indonesien, 100 g Kolophonium gelb Ph.H.V., 50 g Rizinusöl geblasen 4000 cP, 50 g englischer Öllack.

Die Harzlösung folgt dem letzten Ätherbad; auf ihr werden die Hölzer erst schwimmen. Nach kurzer Zeit sinken sie ab, was ein Beweis des beginnenden Austauschprozesses darstellt. Dieser kann mit Vakuum beschleunigt werden, was bei etwa 400 Torr zum Sieden des Bades führt. Nachteile sind mögliche Siedeverzüge mit ihren mechanischen Auswirkungen. Ohne eine so erzeugte Badbewegung sind 4 Wochen durchschnittliche Verweilzeit für ein vollkommenes Durchdringen der Harzlösung nötig. Dann wird die Harzlösung abgelassen und unter Berücksichtigung des Verdünnungsgrades zur Weiterver-

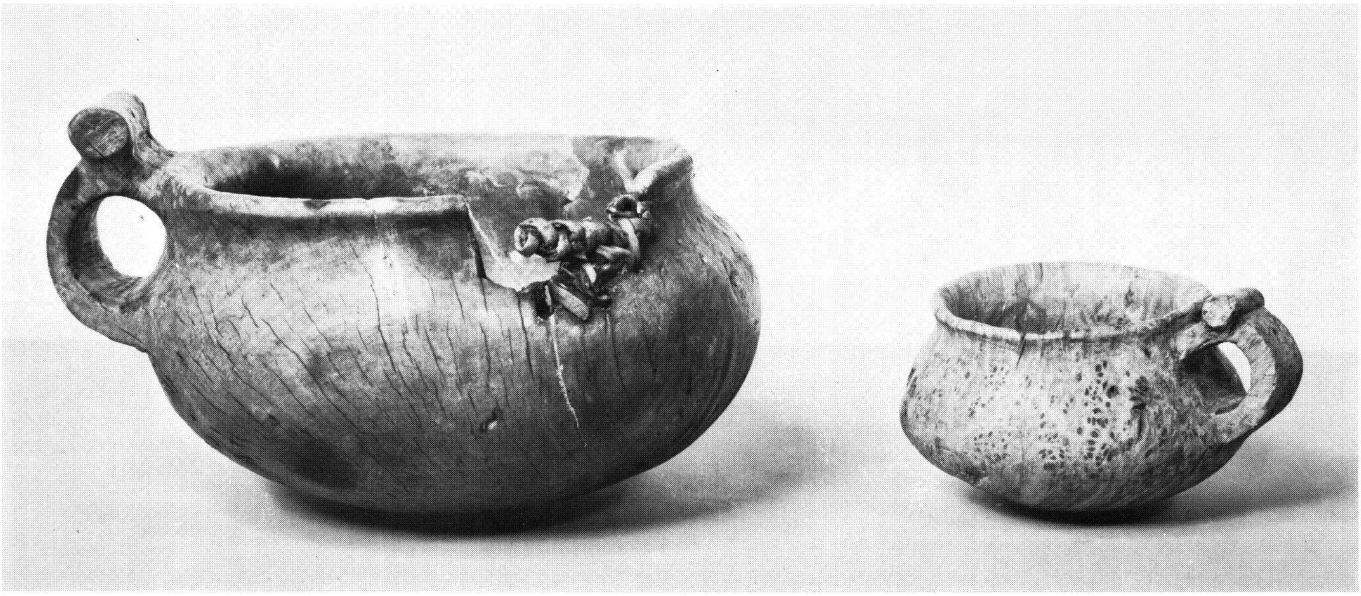


Abb. 31 Fiavè (Provinz Trento, Italien), «Carera». Grabung 1975. Mittelbronzezeit. Henkeltassen, eine davon mit geflochtener, antiker Flickstelle, aus Maserknollen. Durchmesser der größeren Tasse 15,2 cm. Konserviert mit der Alkohol-Äther-Harz-Methode 1975/76.

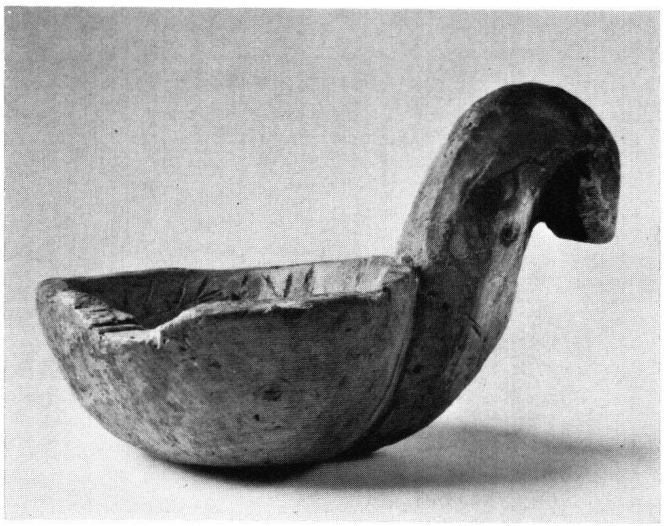


Abb. 32 Meilen ZH, Feldmeilen «Vorderfeld». Grabung 1971. Horgener Kultur. Schöpferrohling kurz vor seiner Vollendung, aus einem Ahornmaserknollen gefertigt. Maßstab 1:2. Konserviert mit der Alkohol-Äther-Harz-Methode, 1974.

wendung bereitgehalten bzw. konzentriert. Die Harztränkung ist entscheidend für ein optimales Resultat nach der Trocknung.

Die Vakuumtrocknung
Das Trocknen geschieht in den gleichen Bassins, wozu lediglich die Glasdeckel entfernt werden. Mit einer Balzers-Drehschieber-Vakuumpumpe mit Gasballast (DUO 25) wird der Druck auf gegen 0 Torr abgesenkt, was in 20–30 Minuten möglich ist. Die Vakuumerzeugung wird dann unterbrochen, und erst in 1–2 Tagen, wenn durch Verdampfung von Äther ein Druckanstieg entstanden ist, wieder gleicherweise in Betrieb gesetzt. Ein mindestens 3faches Abpumpen ist bis zur Vakuumkonstanz erforderlich. Die Ätherdämpfe gelangen mit dem Abluftstrom ins Freie. Die Örtlichkeit des Betriebes sowie die Installationen müssen allen Sicherheitsvorschriften entsprechen.

Das Aufarbeiten
Die getrockneten Hölzer werden nun von partiell möglichen Harzüberschüssen an der Oberfläche mit Methylenchlorid gereinigt. Bruchstücke lassen sich spielend mit dem Zelluloseklebstoff Karlsons-Klister zusammensetzen, dessen leichte Löslichkeit in Azeton oder Äthylazetat von Vorteil ist. Längere dünne Hölzer, wie Axtschäfte usw., werden wegen der recht hohen Bruchanfälligkeit (insbesondere quer zur Faserachse) mit Aluminiumselen armiert. Hierfür werden Alu-Rohre zu Hohlbohrern geschliffen und unter Erwärmen eingesetzt («gebohrt»).

Die ausgestoßenen Bohrkerne lassen das Eindringen des Harzes kontrollieren. Ergänzungen von Schad- und Fehlstellen nimmt man mit eingefärbter Masse aus Hartgips und feinem Korkmehl, im Gewichtsverhältnis 7:1, mit verdünntem PVA-Dispersionsleim angemischt, vor. Diese Methode hat sich bis heute bestens bewährt, besonders wegen der leichten, plastischen Retuschierbarkeit nach dem Durchtrocknen durch einfaches Anfeuchten der Oberfläche mit Wasser und etwas Alkohol.

Schlußbehandlung
Der Schlußbehandlung in Form einer Oberflächentränkung mit geschmolzenem Wachs kommt sowohl für die optische Beurteilung als auch für die gute Handhabung eine besondere Bedeutung zu. (Gegenwärtig sind wir am Prüfen von Ersatzprodukten für die nicht mehr lieferbaren Typen TPW 143 und TPW 102.) Das geschmolzene und mit dem Pinsel aufgetragene Imprägnierwachs wird nach dem Erstarren unter einer Infrarotlampe behutsam abgewischt. Es wird kaum tiefer als etwa 1–2 mm eindringen. So erhalten die harzgetränkten Hölzer erst ihre oft so erstaunliche Ähnlichkeit mit rezenten Holzgeräten derselben Holzart.

Zu starke Erwärmung etwa mit Heißluft oder durch Eintauchen der Objekte in die heiße Wachskomposition würden einen optimalen Finish verderben. Letzte Farbretuschen an ergänzten Stellen können mit Pulverfarben und Wachslösungsmitteln angebracht werden.

Grenzen der Methode und spezielle Probleme

Erhaltung
Grundsätzlich zeigen sich Unterschiede bei der Konservierung zwischen Laub- und Nadelhölzern, weniger wegen holzanatomischer Unterschiede als wegen des ungleichen Holzabbaus.

Es sind im allgemeinen die stärker abgebauten Hölzer, die sich problemlos konservieren lassen, wenn man von extrem abgebauten (wie Pappel, Linde, Hasel) absieht. Als besonders gut geeignete Holzarten haben sich Esche und Ahorn erwiesen (oft Maserholz).

Dagegen neigt die Eiche zu einer weniger guten Harzaufnahme und ist eher von ungleichem Abbau. Die Eibe ist wohl die besterhaltene Holzart, gefolgt von der Weißtanne und der Fichte. Sie bekommt oft erst in der Schlußphase der Vakuumtrocknung Spannungs- und Schwundrisse. Die Trocknung müßte hier eventuell mit einer Polyäthylenglykolbehandlung kombiniert werden. Ist ein Objekt mit anderen organischen Materialien verbunden, zum Beispiel mit Harzen wie Birkenteerpech entstehen Probleme. Vor allem im Äther würde dieser Verbundstoff zu stark angelöst. Wir weichen hier auf andere Methoden aus.

Knochen- und Hirschhornkombinationen verlangen in und nach der Schlußphase der Vakuumtrocknung besondere Beobachtung des Konservierungsverlaufes.

Die Dimensionstreue im konservierten Zustand ist im Vergleich zum Fundzustand nicht ideal. Typisch für die

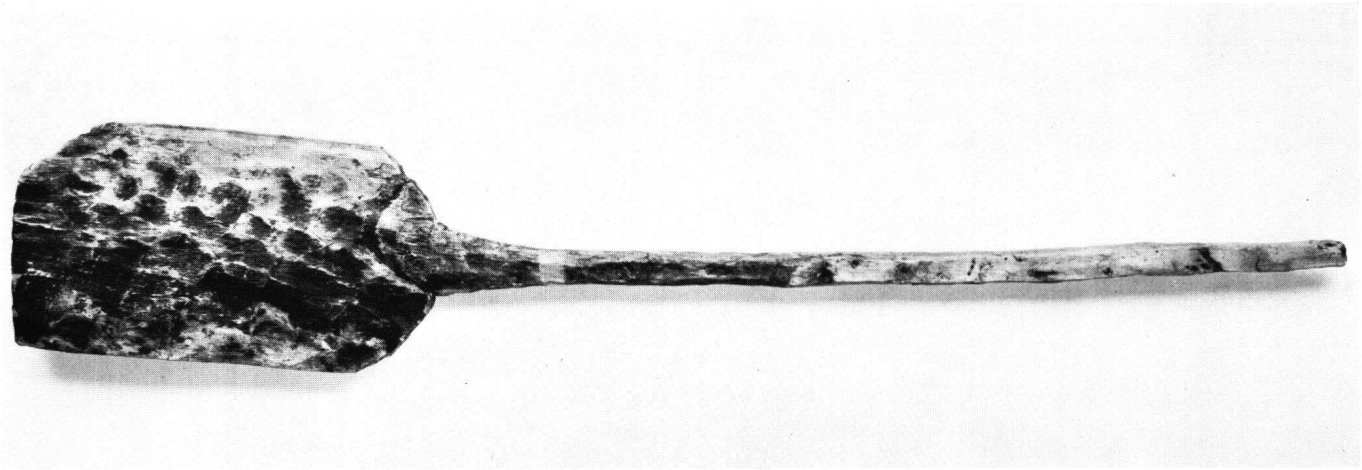


Abb. 33 Meilen ZH, Feldmeilen «Vorderfeld». Grabung 1971. Horgener Kultur. Schaufel aus Ahorn. Gut sichtbar sind die Hiebspuren der Zubereitung auf dem breiten Blatt. Länge 131 cm. Konserviert mit der Alkohol-Äther-Harz-Methode, 1975.

Methode scheint der erhöhte Längsschwund zu sein, beträgt er doch bis zu 3% gegenüber etwa 1,5% in tangentialer Richtung. Als Vergleich soll in Erinnerung gerufen werden, daß ein durchschnittlich erhaltenes neolithisches Laubholz beim Trocknen ungefähr 60–80% tangential, 30% radial und in der Länge 5% schwindet und der Volumenschwund 70–90% beträgt. Besonders auffallend ist der Längsschwund bei einseitig angekohlten Axtschäften, die sich nur im unverkohlten Bereich verkürzen und daher verkrümmen.

Rückformungen sind möglich, wenn sie sich im Naßzustand schadlos erreichen und fixieren lassen. Nach der Konservierung bestehen durch Erweichen mit Methylenchlorid und mit Wärmeanwendung geringe Möglichkeiten von Formkorrekturen.

Die Möglichkeit von Reparaturen und das Zusammensetzen von Bruchstücken ist günstig. Im allgemeinen passen die Bruchstücke so gut wie im Naßzustand zusammen. Einer allenfalls nötigen Rekonservierung steht theoretisch und praktisch eine günstige Prognose zu.

Oberflächenbeschaffenheit

Die Gefahr von Rißbildungen in Längsrichtung ist sowohl bei sehr stark abgebauten als auch bei nur wenig abgebauten Hölzern vorhanden, vor allem aber beim vollen Stamm- oder Astholz.

Rißbildungen an Material- oder Dichtegrenzen sind meist nicht gravierend. Risse quer zur Faserachse treten – wenn überhaupt – als Haarrisse auf. Letztere hängen weitgehend von der Harzimprägnierung ab; ist diese genügend, kommen sie kaum vor oder sind eine Folge von Dichtewechsel Kern–Splint bzw. von ungleichem Abbaugrad. Die Oberflächenverletzbarkeit nimmt während der Konservierung vom Naßzustand bis zum Trockenzustand kontinuierlich ab. Während der Konservierung bringt sie bei sachgemäßer Behandlung keine Probleme. Die Handhabung der harzgetränkten und wachsbehandelten Fertigprodukte verlangt ohne Zweifel eine sorgfältige Behandlung zur Vermeidung von Brüchen und Oberflächenverletzungen. Versuche zur Härtung mit extrem niederviskosen Epoxidharzen erbrachten zwar oberflächlich eine merkliche Verbesserung, jedoch auf Kosten des Aussehens.

Farbe und Textur

Farbe und Textur dürfen, im Vergleich zu rezenten Holzgeräten, zweifellos als gut bis sehr gut bezeichnet werden. Außer dem Wachsfinish kommt keine Kosmetik zur Anwendung. Glanz und Textur sind optimal erreichbar.

Alterungsverhalten

Gemessen am effektiven Alter prähistorischer Hölzer, nehmen sich 30 Jahre Methodenrückblick bescheiden aus. Vorausgesetzt, daß die Konservierung – also vor allem die Harztränkung – einwandfrei durchgeführt worden ist, sind die Resultate beruhigend.

Beobachtungen an mehreren tausend konservierten Holzobjekten können dies bestätigen. Bei klimatisch günstiger Lagerung sind praktisch keine Veränderungen feststellbar oder zu erwarten. Die komprimierte Alterungsprüfung ist gegenwärtig im Gange. Die Impermeabilität der behandelten Hölzer ist relativ groß. Wasserteste ergaben für kurze Tauchzeiten keine Schäden. Ebenso haben Proben Wärmeteste erstaunlich gut überstanden.

Technologische Kriterien

Das maximal konservierbare Volumen ist begrenzt durch die Dimensionen der Gefäße bzw. des Rezipienten. Die

größten Bassins, die sich in unseren Vakuumbehälter einschieben lassen, ergeben Maximalnutzflächen von 1,10 × 1,60 m und eine Nutzhöhe von unter 0,20 m oder 0,75 × 1,60 m (bei einer Bruttohöhe von 0,75 m).

Der Wasseraustausch mit Alkohol und Äther bietet keine Schwierigkeiten, und das Eindringen der Harzlösung ist für durchschnittlich abgebaute Hölzer im wesentlichen eine Zeitfrage. Trotzdem lassen sich Unterschiede nach Holzarten erkennen. Die Eiche scheint weniger zur Harzaufnahme geneigt als zum Beispiel die Esche (abgesehen von den Nadelhölzern, bedingt durch ihren geringeren Abbaugrad). Über die Verteilung des Harzes in der Holzzelle geben elektronenmikroskopische Aufnahmen Auskunft[41]. Die Idealaufnahme an Harz/Öl beträgt für ein durchschnittliches Laubholz 40% des Naßgewichtes. Die Gewichte getrockneter Hölzer sollen also (mit kleinen Abweichungen) je nach Abbaugrad mit 2,5 multipliziert das Naßgewicht ergeben. Dieser Kontrollfaktor basiert auf einem Wassergehalt von etwa 85%.

Die Fragilität der mit der Alkohol-Äther-Harz-Methode konservierten Naßhölzer ist bekannt; man muß sie als solche erkennen und in Berücksichtigung ziehen. Erhöhte Vorsicht ist bei Transporten und bei Halterungen in der Schausammlung geboten.

Soviel mir bekannt ist, stößt die nachträgliche Bestimmung der Holzart auf keine besonderen Schwierigkeiten, ebenso ist die dendrochronologische Altersbestimmung unter Beachtung möglicher Fehlerquellen durchführbar.

Die Methode bietet weitere Verbesserungsmöglichkeiten.

Die ^{14}C-Methode an konservierten Hölzern durchführen zu wollen, scheint mir illusorisch zu sein. Dagegen ist die Methode weiterentwicklungsfähig. Leider fehlten bisher Motivation sowie Zeit und Mittel.

Wirtschaftliche Kriterien

Ein Kleingegenstand kann bei Anwendung von Vakuum in 2 Wochen konserviert werden. Das abgekürzte Verfahren ist jedoch nicht üblich. Der Zeitaufwand für die Konservierung eines mittelgroßen Objektes, wie zum Beispiel einer Holzschale oder eines Axtschaftes, erstreckt sich normal – von der Bleichung bis zur Vakuumtrocknung – auf minimal 7 Wochen. Die Kosten für Alkohol, Äther und Harzlösung betragen Fr. 1.40, 4.90 und 8.— je Kilo. Bei der Faustregel «Vierfaches Volumen des Naßholzes an Alkohol und Äther bzw. das Doppelte an Harzlösung» ergeben sich zusammen mit dem Energieaufwand für die elektrischen Installationen (ohne Arbeit) Kosten von rund Fr. 50.— je kg Naßholz. Der personelle Aufwand ist in dieser Phase relativ gering und steigt bei der Aufarbeitung der oft unvollständigen und in Fragmenten vorliegenden Artefakten.

Die Erfolgsquote der Methode ist hoch. Relative Mißerfolge sind bei starkem Dichtewechsel oder bei ungenügender Konzentration und Diffusion der Harzlösung möglich. Nicht übersehen werden soll der größere Längsschwund.

Die Gefährlichkeit des Arbeitsplatzes ist nicht zu unterschätzen. Hinzu kommt die belästigende Wirkung der Alkohol- und Ätherdämpfe (trotz Schutzvorrichtungen).

Der Neuwert der Installationen ohne Gebäude übersteigt Fr. 20000.—.

4. Die Gefriertrocknungsmethode

von Jörg Th. Elmer

Die Gefriertrocknung bildet eine der zahlreichen Möglichkeiten, ein Naßobjekt in den trockenen Zustand zu überführen. Über die Vor- und Nachteile dieser Zustandsveränderung soll weiter unten ausführlich berichtet werden. Die nachfolgende Beschreibung vermittelt eine Kurzfassung der Methode und eine Aufzeichnung von Erfahrungswerten.

Seit Mai 1967 bin ich mit der Gefriertrocknung von neolithischen Geflechten und Geweben beschäftigt[42]. Die damit erzielten Erfolge ermunterten mich auch, Naßhölzer mit derselben Methode zu entwässern. Die bisherigen Fundobjekte waren wie die Naßhölzer ebenfalls vielfach aus mehreren verschiedenen Substanzen zusammengefügt. Dies betrifft beispielsweise: mit Holz oder Rinde geschäftete Messer, eingekittet mit Birkenpech (Abb. 34); Pfeilspitzen, von Holzfragmenten des Pfeilschafts umgeben; scheidenartige Taschen aus Rinde und Bast; mit Birkenrinde und Bast umwickelte Steine; eine Großzahl von Korbfragmenten (Abb. 35).

Das sind alles Objekte, bei denen die kontraktionsfreie Entwässerung und Konservierung Probleme aufwirft. Institutsinterne Gründe forderten ein sorgfältiges Abtasten bei der Holzkonservierung. Großobjekte schieden durch ihr Ausmaß aus, Objekte, bei denen die Substanz eindeutig war, ebenfalls.

Das Probematerial, das wir für den Konservierungsvergleich erhielten, wurde weitgehend von unserem Stagiaire, Herrn Th. Weidmann, bearbeitet. Um ein unverfälschtes Bild zu erhalten, wurde keine besondere Sorgfalt angewendet. Die Arbeit erfolgte in einer sehr kurzen

Abb. 34 Charavines (Département Isère, Frankreich), «Les Baigneurs». Grabung 1974. Saône-Rhône-Kultur. Dolch mit Rotbuchenknauf, Umwicklung aus Weißtannenästchen. Maßstab 1:1. Gefriertrocknung, 1974.

Zeitspanne und mit ebenso geringem Aufwand. Eine Reinigung der Proben bzw. ein Bleichbad oder ähnliches wurde nicht angewendet. Aus Erfahrung wissen wir, daß die Gefriertrocknung nichts anderes ist, als das zu Eis gefrorene Wasser bei weniger als 0 °C zu verdampfen bzw. zu sublimieren; noch einfacher gesagt ist es nur ein Trocknungsvorgang. Nun gibt es aber kaum ein prähistorisches Fundobjekt, das ohne Konservierungsmittel aufbewahrt werden kann. Das Eindringen solcher Verfestiger geschieht beim Gefriertrocknen mit Vorteil in nassem Zustand. So wurden unsere Testhölzer in eine 8-%-Lösung von PEG 400 gelegt. Dieses Polyäthylenglykol hat die Aufgabe, die Expansion beim Gefrieren zu verringern und die Restfeuchtigkeit im Holz zu erhöhen. Entsprechende Versuche haben gezeigt, daß bei der nachfolgenden Sublimation etwa die Hälfte des PEG 400 mitgerissen und der Gefrierpunkt des Wassers gesenkt wird. Je nach Erhaltungszustand des Holzes können andere Konservierungsmittel beigefügt werden. Die Kriterien dazu sind Niedermolekularität, Wasserlöslichkeit und Alterungsbeständigkeit. Eine Diffusion durch die Zellwände, also ein Vordringen in die innerzellularen Strukturen, ist ein sehr langsamer Vorgang, der unter Zuhilfenahme von Wärme beschleunigt werden könnte. Das Einfrieren der Testhölzer erfolgte ohne Vorkühlung in einer gewöhnlichen Haushalttiefkühltruhe. Volumenmäßig dürften alle Hölzer zusammen die oberste Grenze erreicht haben, um gleichzeitig in kürzester Zeit die Temperatur von 0 °C bis —30 °C zu durchlaufen. Versuche haben nämlich ergeben, daß bei einer 240 l fassenden Tiefkühltruhe 9 Bechergläser (von total 3,6 l Inhalt), mit verschiedensten polaren Flüssigkeiten gefüllt, 20 Stunden benötigen, um die übliche Temperatur von —30 °C wieder zu erreichen. Das Einfrieren selbst ist ein sehr wichtiger Arbeitsvorgang, weil in dieser Phase Querrisse entstehen können. Wünschenswert wäre es, wenn kleine Objekte in große leistungsfähige Kühlkammern gelegt werden könnten, in denen es sogar möglich ist, durch besondere Einbauten die Leitfähigkeit zu erhöhen. Die eigentliche Sublimation erfolgte in unserem großen Rezipienten. Dieser Kessel besteht aus rostfreiem Stahl V2 und wiegt etwa 150 kg. Bei den vorliegenden Testhölzern genügte diese Masse, um die im Innenraum frei werdende Energie abzutauen. Wenn wir den Rezipienten mit mehr als etwa 5 kg Gefriergut bestücken, muß die entstehende Verdunstungskälte durch Wärme ausgeglichen werden. Der Eiskondensator im Innenraum hat eine Temperatur von ca. —50 °C bis —60 °C, er sollte etwa 20 °C kälter sein als das Gefriergut; dies wäre das erwünschte 10fache Druckgefälle. Um dieses Druckgefälle mehr oder weniger konstant zu halten, ist im Pumpsystem ein Steuergerät eingebaut, das den Torr-Druck in unserer Anlage konstant zwischen 0,5 und 1 Torr hält.

Nach etwa 3 Tagen waren die Testhölzer getrocknet. Nach Abschluß der Sublimation befanden sich die Fund-

objekte in einem trockenen Zustand. Die Schlußbehandlung kommt einer Kosmetik gleich; sie dient gleichzeitig auch als Barriere, um die Alterung bzw. Veränderungen zu verzögern. Die Testhölzer wurden mit Araldit-Imprägnierharz angestrichen. Damit konnte eine Festigung im trockenen Zustand erreicht werden.

Die vorliegende Untersuchung gibt keinen Aufschluß über die Vorgänge im innerzellularen Bereich. Längst bekannt sind viele andere Naßholzkonservierungsmethoden, die unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren zu einem Erfolg führen. Fehler, die in der Gefriertrocknung immer wieder gemacht werden, zeigen, daß die Methode meist unterschätzt wird. Fünf Punkte sind notwendigerweise immer wieder zu beachten:

1. Das Einlegen des Fundobjektes dauert zu kurz, oder das Molekulargewicht des Konservierungsmittels ist zu groß, als daß dieses in die Hohlräume des Objektes eindringen kann. Wärmezufuhr wäre wünschenswert!

2. Die Zeitspanne des Einfrierens ist zu lang, die Vorkühlung ungenügend. Ferner ist es möglich, daß die Tiefkühltruhe leistungsmäßig nicht in der Lage ist, die plötzlich anfallende Wärme in kurzer Zeit abzuführen. Eine zusätzliche Kühlung durch Trockeneis wäre wünschenswert.

3. Ungenaue Kontrolle, ob der Trocknungsvorgang, das heißt die Sublimation, tatsächlich beendet ist. Kleine Reste von Eiskristallen können zu großen Schäden am Objekt führen.

4. Die Sublimation bedeutet für das Kulturobjekt eine Zustandsveränderung, die durch hohe physikalische Kräfte erreicht wird. Ist der Verlauf der Sublimation und die Druckausgleichung sehr kurz, das heißt nur einige Stunden, so sind große Spannungen im Makrobereich zu erwarten.

5. Wird dem Kulturgut vor dem Einfrieren kein Konservierungsmittel beigegeben, so hat dies nach der Sublimation zu erfolgen. Gefriergetrocknete Holzobjekte verändern sich an der Luft infolge der erneuten Wasseraufnahme sehr schnell und können zerfallen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß möglichst schlecht erhaltene, stark abgebaute Naßobjekte mit der Gefriertrocknungsmethode sehr erfolgreich gefestigt und konserviert werden können. Sind die Hölzer in polar gelöstem Konservierungsmittel behandelt worden, so sind sie jederzeit in den Naßzustand zurückzuführen. Mittelalterliche Grabfunde aus Moderholz zeigten bei der zweiten Sublimation bedeutend weniger Kontraktion, so daß sie unseren hohen Ansprüchen genügten. Die Behandlung vieler prähistorischer Naßfunde, die seit 1972 an unserem Institut von mir persönlich konserviert wurden, verlief erfolgreich.

Es sind jetzt positive Ansätze vorhanden, die Vorgänge im innerzellularen Bereich zu erforschen. Es dürften uns die noch fehlenden Angaben geliefert werden, die zu einer Weiterentwicklung der Gefriertrocknung nötig sind. Damit könnte die Erfolgsquote auf größere Objekte, soweit dies die jeweilige Anlage erlaubt, ausgedehnt werden. Mit der Überführung eines Naßobjektes in einen trockenen Zustand ohne Mediumswechsel wird dem Restaurator eine Möglichkeit mehr geboten, die Alterung von Kulturgut zu bremsen. Ohne die gründliche Kenntnis der Methode wird man allerdings viele Mißerfolge einstecken müssen.

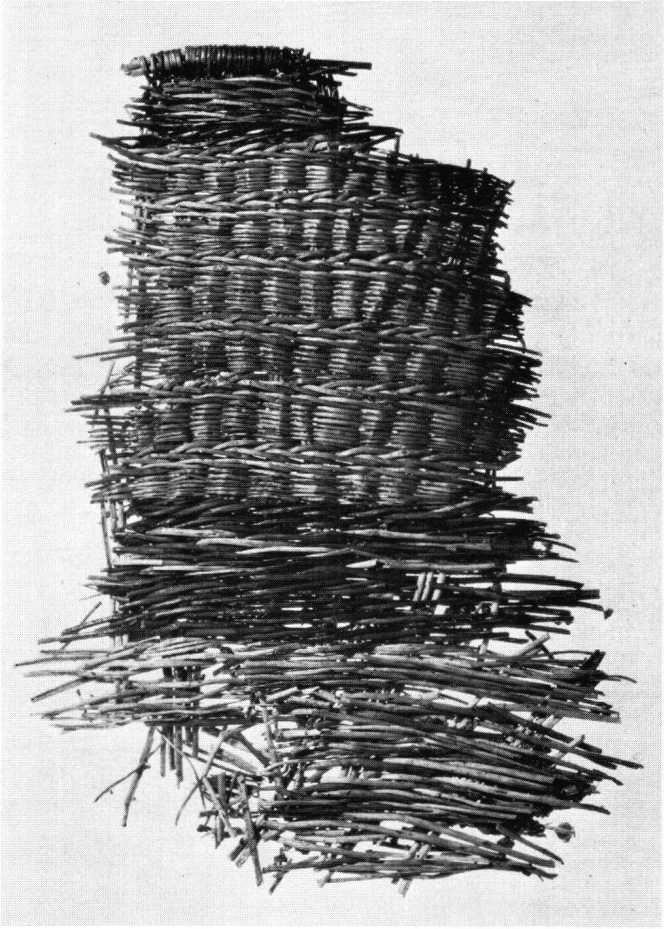


Abb. 35 Auvernier NE. Spätbronzezeit. Korbfragment mit verschiedenen Flechtmustern und zweifarbigen Ruten. Höhe 24,5 m. Gefriertrocknung mit nachträglicher Epoxydharztränkung.

Die Gefriertrocknung ist wirtschaftlich tragbar und risikoarm, da sie mit Leichtigkeit rückgängig gemacht werden kann. Die Investitionskosten sind gering, da die dazu benötigten Anlagen meist schon in einem Konservierungsbetrieb vorhanden sind. Durch das Gefrieren werden die zerbrechlichsten Fundstücke mechanisch fest und daher bearbeitbar. Die vielen Vorzüge mögen ein Grund dafür sein, daß sich die Methode immer mehr durchsetzt, wenigstens in den mir bekannten Konservierungswerkstätten. Da auch weiterhin das anfallende Fundgut sehr unterschiedlich sein wird, müssen stets mehrere verschiedene Konservierungsmethoden geprüft und nebeneinander angewandt werden müssen.

5. Die Methode Carbowax (PEG) / Gefriertrocknung

von Beat Hug

Einleitung

Die seit 1975 in Neuenburg durchgeführte Gefriertrocknungsmethode beruht auf den Grundlagen von verschiedenen Publikationen[43], im speziellen derjenigen von J. Th. Elmer[44] und A. M. Rosenqvist[45]. Viele mündliche Informationen durch die Herren J. Th. Elmer und W. Kramer vom Landesmuseum in Zürich haben mitgeholfen, unsere Methode zu verfeinern. Modifikationen haben wir selber empirisch erarbeitet (Abb. 36).

Methodenbeschreibung

Vorbehandlung

Reinigung mit Dusche oder Wasserpistole unter Zuhilfenahme von weicher Bürste oder Pinsel.

Dokumentation: Karteikarte ausfüllen, messen, wägen, photographieren oder zeichnen.

Bleichbad: Einlegen der sauberen Objekte in ein Wasserbad mit je 4‰ Zusatz von Perhydrol und Ammoniak.

Idee: Da die Hölzer durch die nachfolgende PEG-Tränkung (PEG = Polyäthylenglykol) und durch die Schlußbehandlung mit Wachs dunkler werden, müssen sie mit einem Bleichbad zuerst aufgehellt werden.

Bleichbad nach 2–3 Tagen erneuern.

Nach etwa einer Woche werden die in der äußersten Schicht gebleichten Objekte in etwa 60 °C warmen Wasserbädern gespült. Diese warmen Bäder werden an den folgenden 2 Tagen mehrmals gewechselt.

Nach guter Wässerung werden die Hölzer ein letztes Mal in ein etwa 80 °C heißes Wasserbad gelegt. Nach kurzer Zeit, wenn die Hölzer die Badtemperatur angenommen haben, werden sie herausgenommen, leicht abgetrocknet und auf Zellstoff gelegt, damit während rund 5 Minuten das Oberflächenwasser abdampfen kann. Dann werden die noch warmen Hölzer in das vorher zubereitete PEG-Bad eingelegt. Das PEG-Bad besteht aus 15% PEG 400 und reinem Wasser. Als Fungizid wird dem Bad eine Lösung von Borsäure und Borax (1% bezogen auf das PEG) im Verhältnis 7:3 zugesetzt.

Beispiel für 10 l Badlösung:
1,5 kg PEG 400, 8,5 l reines Wasser, 10,5 g Borsäure, 4,5 g Borax.

Als Badgefäße werden Kunststoffbehälter verwendet.

Idee: Nach dem kontrollierten Antrocknen der Oberfläche kann die PEG-Lösung leichter in diese Zone eindringen. Zusätzlich durch den Wärmeunterschied zwischen den warmen Hölzern und dem kalten Bad muß auch ein schnellerer Austausch des Quellwassers mit der Badlösung stattfinden.

Während der mindestens 1 Monat dauernden PEG-Tränkung werden die Hölzer wöchentlich dem Bad entnommen, das Bad auf 50–60 °C erwärmt und die kalten Hölzer wieder eingelegt.

Idee: Besserer Austausch des Quellwassers mit der Badlösung.

Konservierung

1. Nach mindestens 1 Monat PEG-Tränkung entnimmt man die Objekte dem Bad, lässt sie kurz abtropfen und legt sie zum Einfrieren in die etwa —25 °C kalte Kühltruhe.
2. Mindestens 24 Stunden später kann der Trocknungsprozeß in der Gefriertrocknungsanlage beginnen.

Unsere Anlage besteht aus einem umgebauten Vakuumtrockenschrank Heraeus RTV 500, einer Drehschieberpumpe Leybold trivac D 16A und einem speziell von der Firma M. Hämmerle in Winterthur angefertigten Kondensator.

Der Arbeitsdruck beträgt 0,2–1,2 Torr, und die Kondensatortemperatur beträgt etwa —50 °C.

3. Nach etwa ½ Tag wird der Trocknungsprozeß unterbrochen, das heißt, die Hölzer werden der Anlage entnommen und zum Auftauen in Kunststoffbeutel eingepackt. Das Einpacken erfolgt, damit die Hölzer nicht weiter trocknen können.
4. Die aufgetauten Hölzer werden erneut in 15prozentige PEG-Lösung eingelegt und während etwa 2 Stunden unter Vakuum von rund 100 Torr gebracht.

Idee: Die im Teiltrocknungsprozeß getrocknete Oberfläche kann sich nun mit PEG-Lösung vollsaugen, wodurch die Haarrisse vermindert werden. Die Hölzer müssen vor dem Einlegen aufgetaut sein, da sonst Spannungsrisse entstehen können.

5. Nach etwa 2 Tagen PEG-Tränkung wird wie unter Punkten 1 und 2 weitergefahren.
6. Nach einem Tag Trocknungsprozeß werden die Punkte 3–5 wiederholt.
7. Die nun 3mal mit PEG getränkten Hölzer werden nach eintägigem Trocknungsprozeß der Anlage entnommen und zum Auftauen eingepackt. Nach dem Auftauen werden sie erneut in der Kühltruhe eingefroren.

Idee: Das Quellwasser im Zentrum eines Objektes kann sich nach dem Auftauen in die schon trockene Randzone verteilen, wodurch Spannungen ausgeglichen werden können.

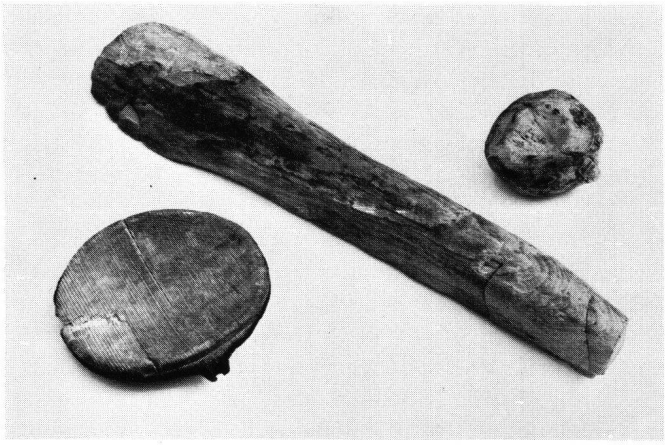
8. Nach mindestens 24 Stunden kann der Trocknungsprozeß weitergeführt werden.
9. Nach 2 Tagen wird der Trocknungsprozeß ein letztes Mal wie bei Punkt 7 unterbrochen. Anschließend wird die Gefriertrocknung bis zur Vollständigkeit durchgeführt.

10. Der Abschluß des Trocknungsprozesses wird dadurch bestimmt, indem die Hölzer täglich zur Gewichtskontrolle der Anlage entnommen werden. Wenn 2 sich folgende Messungen das gleiche Resultat auf das Zehntelgramm genau ergeben, also die Gewichtskonstanz erreicht ist, darf ein Objekt als trocken gelten. Die nun praktisch 100prozentig trockenen Hölzer nehmen sofort Feuchtigkeit aus der Luft auf und darum an Gewicht zu.

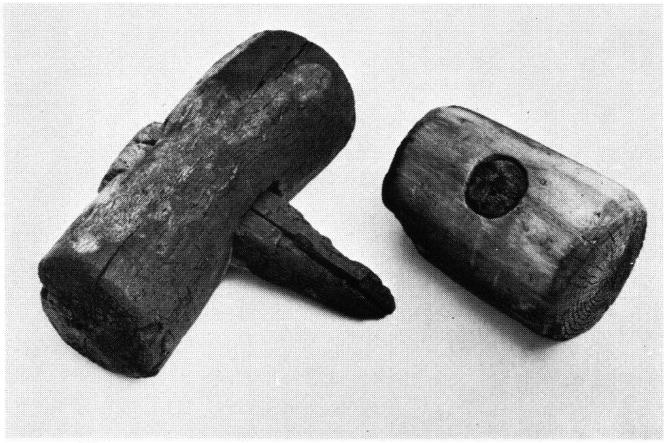
Schlußbehandlung

Die trockenen Objekte werden während ein paar Tagen an die für den späteren Aufbewahrungsort gültige Luftfeuchtigkeit gewöhnt: etwa 50% relative Feuchtigkeit.

Gebrochene Hölzer werden mit Zelluloseklebstoff (Uhu-hart) geklebt und eventuell mit einer Mischung aus Modellgips und Weißleim ergänzt.



10 cm



10 cm

Abb. 36 Oben rechts: Auvernier NE, Brise-Lames. Grabung 1974. Saône-Rhône-Kultur, Stufe Lüscherz. Rohling einer Tasse aus einem Ahorn-Maserknollen. Gefriertrocknung nach Carbowax-Vorbehandlung, 1978. Übrige Gegenstände: Auvernier NE. Grabungen 1971–1975. Spätbronzezeit. Ruder aus Esche, Deckel aus Fichte, linker Hammer aus Buche mit Eichenstiel und rechter Hammer aus Esche mit Haselstiel. Gefriertrocknung nach Carbowax-Vorbehandlung, 1977/78.

Beschriftung der Objekte (Inventarnummer usw.).

Eigentliche Schlußbehandlung, das heißt Festigung und zugleich Schutz gegen zu hohe Luftfeuchtigkeitsschwankungen.

Verflüssigter mikrokristalliner Wachs wird auf das kalte Holz aufgepinselt, wo es sich, eine Schicht bildend, verfestigt. Damit läßt sich ein gleichmäßiger und lückenloser Auftrag kontrollieren. Nun wird mit der Infrarotlampe oder der Heißluftpistole die Wachsschicht verflüssigt, damit sie vom Holz aufgesogen werden kann.

Idee: Da die Hölzer durch den starken Abbau meistens eine zu geringe Eigenfestigkeit aufweisen, müssen sie nach dem Trocknungsprozeß verfestigt werden. Gemäß dem obersten Grundsatz, daß eine Behandlung wenn immer möglich rückgängig gemacht werden kann, verfestigen wir unsere reversibel getrockneten Hölzer auch mit einem reversiblen Verfestigungsstoff. Da organische Stoffe (Hölzer usw.) immer hygroskopisch bleiben, wählten wir kein hartes, versprödendes Harz, sondern ein zähelastisches Wachs. Damit können kleine Volumenveränderungen im Zusammenhang mit Luftfeuchtigkeitsschwankungen rißfrei ausgeglichen werden.

Es gibt aber Fälle (zum Beispiel Axtschäfte), wo mit Wachs keine genügend große Festigkeit erreicht wird und wir hierbei auf die von J. Th. Elmer in dieser Publikation beschriebenen Harzverfestigung ausweichen. Wenn immer möglich nehmen wir aber der Reversibilität zuliebe eine geringere Festigkeit in Kauf und behandeln mit Wachs. Mit dem Einwachsen stellen wir auch eine Schranke gegen zu hohe Luftfeuchtigkeitsaufnahme her, da sonst Schäden (wie bei nichtkonservierten, getrockneten Objekten) entstehen. Das Einwachsen soll, wie erwähnt, bei derselben Luftfeuchtigkeit stattfinden wie am späteren Aufbewahrungsort. Damit entfällt die Angleichung, welche Sekundärschäden (Risse) hervorrufen kann.

Einfärben der Ergänzungen mit in Sangayol angeriebenen Farbpigmenten.

Dokumentation der fertig konservierten Hölzer. Vergleich mit den Daten vor der Konservierung.

Grenzen der Methode und spezielle Probleme

Probleme, die mit einzelnen Holzarten zusammenhängen, haben wir bis heute keine beobachtet. Hingegen treten solche bei unterschiedlichem Holzabbau, bei Dichteunterschieden (Splint-Kern), bei Ästen und verkohlten Partien auf. An diesen Stellen ist mit Rissen zu rechnen. Rinde kann sich ablösen, läßt sich aber meistens problemlos zurückkleben.

Im Gegensatz zu anderen Konservierungsmethoden gibt es beim gleichzeitigen Vorhandensein von anderen Materialien zusammen mit Holz fast keine Probleme. Wahrscheinlich ist die Gefriertrocknung die ideale und vielfach auch die einzige mögliche Methode zur Konser-

vierung solcher Objekte. Je nach Materialart (zum Beispiel bei Schnüren aus Pflanzenfasern) muß das zur Vorbehandlung gehörende Bleichbad weggelassen werden, da sich die entsprechenden Materialien dabei auflösen können. Probleme kennen wir auch im Zusammenhang mit Horn und Knochen. Mit Versuchen werden aber auch diese zu lösen sein.

Die Dimensionstreue zum Fundzustand ist schwer zu beurteilen, da der Fundzustand meistens aus Bruchstükken besteht. Wenn wir unsere Resultate des zu dieser Publikation durchgeführten Reihenversuches vergleichen, können wir feststellen, daß vereinzelt Volumenveränderungen aufgetreten sind: Bei den Eichenproben betrug der Schwund in tangentialer bis 4 %, in radialer Richtung bis 2 %, hingegen waren keine Maßveränderung in Längsrichtung (Faserrichtung) meßbar. Bei den anderen Holzarten (Tanne usw.) ist eher eine Tendenz zur Quellung feststellbar, und zwar in Faser- und tangentialer Richtung je um 2 %.

Gefriergetrocknete, noch nicht verfestigte Objekte sind meistens flexibel. Deformierungen, die vor oder während der Konservierung eingetreten sind, können vor der Verfestigung korrigiert werden. Das Zusammenfügen von konservierten Einzelteilen mit Zelluloseklebstoff ist sehr leicht möglich.

Eine Nachkonservierung ist, da für die Konservierung reversible Materialien verwendet werden, sehr gut möglich. Die theoretische Reversibilität der Methode fällt aber dahin, wenn bei der Schlußbehandlung ein unlösliches Harz an Stelle von Wachs verwendet wird.

Zur Rißbildung gibt es keine allgemein gültige Regel. Bei Eichenholz treten oft Radialrisse bis zum Zentrum auf; bei Tannenholz sind Tangentialrisse entlang den Jahrringen zu beobachten. Fast mit Sicherheit treten Risse bei Dichtegrenzen (Kern-Splint) auf, und vorhandene Risse vergrößern sich. Ist die Oberfläche zu mager mit PEG getränkt, treten Haarrisse auf. Die Rißbildung dürfte auch mit dem Stammsektor zusammenhängen, aus dem das Objekt herausgearbeitet wurde. Um diese Tendenzen abzuklären, sind noch weitere Reihenuntersuchungen durchzuführen.

Dem Skeptiker muß entgegengehalten werden, daß bei jeder Konservierungsmethode mit Rissen zu rechnen ist. Das vielleicht größere, aber nicht bewiesene Risiko der Rißbildung bei der Gefriertrocknung ist mit der fast totalen Reversibilität des Konservierungsprozesses mehr als wettgemacht. Entstandene Risse sind meist leicht zu restaurieren. Bei teilweisen Fehlresultaten fehlen immer die Vergleiche, ob mit einer anderen Konservierungsmethode ein besseres Resultat erzielt worden wäre. Auch in der Holzkonservierung besteht das übliche Dilemma der Konservierungstechnik: Man weiß im Nachhinein selten, was geschehen wäre, wenn man anders oder überhaupt nicht konserviert hätte. Um das Risiko einer Zerstörung zu verkleinern, entscheidet man sich für eine bestimmte Konservierungsmethode, weiß aber nicht mit Sicherheit, inwieweit eine Konservierung überhaupt notwendig war. Nichtkonservierte Objekte in unseren Sammlungen geben ein unterschiedliches Bild; das Nichtkonservieren hat aber meist irreversible Schäden verursacht.

Die Oberflächenverletzbarkeit während der Konservierung ist sehr gering, da die Objekte – selber auf einer Unterlage liegend – nicht manipuliert werden müssen. Hingegen können Verletzungen bei der Vor- und Schlußbehandlung entstehen.

Da die konservierten Objekte meistens eine weiche Oberfläche aufweisen, verlangen sie eine entsprechend sorgfältige Behandlung. Dies soll kein Grund sein, sich von der Gefriertrocknungsmethode mit anschließender Wachsverfestigung zu distanzieren, denn bei Glas, Keramik usw. ist die sorgfältige Behandlung ja auch selbstverständlich!

Oberflächliche Ausscheidungen können bei ungünstiger Lagerung (Wärmequellen, Sonne) durch das Ausschwitzen des bei der Schlußbehandlung aufgetragenen Wachses erfolgen.

Da das Holz nach dem Ausgraben meist eine oxidative Dunkelfärbung erhalten hat, wird zur Erzielung einer ästhetischeren Holzfarbe bei der Vorbehandlung eine Bleichung durchgeführt. Diese Bleichung ist auch nötig, da die konservierten Objekte durch die PEG- und Wachsbehandlung ein dunkles Aussehen bekommen. Gebleichte Hölzer erhalten durch dieses Nachdunkeln eine ästhetische Holzfarbe. Sollte ein bestimmter Farbton gewünscht sein, ist es möglich, das Wachs zur Schlußbehandlung mit Farbpigmenten abzutönen, was wir aber nie praktiziert haben.

Alterungsverhalten

Die Gefriertrocknungsmethode führen wir seit 1975 selber durch. Während dieser Zeit haben wir mit verschiedenen Vor- und Nachbehandlungen an mehr als 350 Objekten unsere Erfahrungen gesammelt. Die konservierten Hölzer werden bei konstanter Luftfeuchtigkeit von etwa 50 % aufbewahrt. Trotz großer Temperaturschwankungen, bedingt durch die Jahreszeiten (Winter unter 15 °C und Sommer bis 30 °C) am leider nicht klimatisierten Aufbewahrungsort, waren bis heute keine Sekundärschäden zu beobachten.

Technologische Kriterien

Das größte maximal konservierbare Volumen entsprechend unserer Anlage beträgt 70 × 30 × 15 cm. Größere Stücke werden für die Konservierung zerteilt. Wenn möglich werden diese Stücke zerbrochen, weil damit eine bessere Verbindung beim nachträglichen Wiederzusammenfügen entsteht. Das größte bis heute von uns konservierte

Objekt, ein spätbronzezeitliches Beckenfragment aus Eichenholz, hatte die Maße 120 × 45 × 14 cm.

Die Homogenität der Konservierung muß, damit diese erfolgreich ausfällt, total sein. Wird der Trocknungsprozeß zu früh abgebrochen, das heißt, wenn noch Eiskristalle im Objektinnern vorhanden sind, entsteht mit größter Sicherheit ein Fehlresultat. Um dies zu vermeiden, sind wir zur Bestimmung des Abschlusses von der Temperaturmeßmethode mittels Wärmefühlers abgekommen und beurteilen nun den Abschluß durch die tägliche Gewichtsbestimmung. Verliert ein Objekt kein Gewicht mehr, muß es trocken sein: Die Gewichtskonstanz an zwei sich folgenden Tagen zeigt den Abschluß des Trocknungsvorganges an. Zum Beispiel: bei einem beidseitig verkohlten, dünnen, bronzezeitlichen Brett mit den Maßen 70 × 30 × 2,5 cm mußten wir uns 35 ½ Tage bis zur Gewichtskonstanz gedulden. Das Brett wog im Naßzustand 3620 g und trocken 783 g.

Das Gewicht der konservierten Hölzer ist kaum schwerer als dasjenige von gewöhnlich getrockneten. Der im Laufe der Jahrhunderte stattgefundene Substanzverlust durch den Abbau fehlt den getrockneten Hölzern. Dies ist eine unbeeinflußbare Tatsache und darf deshalb nicht als Kriterium zur Beurteilung einer Konservierungsmethode in Betracht gezogen werden.

Die Fragilität der konservierten Objekte hängt in erster Linie von deren Art und Form ab. Als Grundsatz gilt, daß konservierte Hölzer wie Museumsobjekte zu behandeln sind; sie gehören nur in die Hände von Fachleuten.

Theoretisch muß eine naturwissenschaftliche Weiterbearbeitungsmöglichkeit, das heißt Bestimmung der Holzart/Anatomie, möglich sein. Die zur Konservierung verwendeten Materialien sollten dementsprechend wieder herauslösbar (reversibel) sein.

Die dendrochronologische Messung zur Altersbestimmung ist problemlos. Nach W. R. Ambrose[46] ist es möglich, die mit PEG behandelten Hölzer mit Wasser auszulaugen und dann die ^{14}C-Altersbestimmung durchzuführen.

Die weitere Entwicklung der Gefriertrocknungsmethode hat unter Berücksichtigung der in diesem Aufsatz erwähnten noch nicht zufriedenstellenden Punkte zu erfolgen: 1. Voraussehbarkeit und Verminderung der Rißbildung; 2. Verbesserung der physikalischen Eigenschaften der konservierten Hölzer; 3. bessere Wirtschaftlichkeit.

Wirtschaftliche Kriterien

Der minimale Zeitaufwand einer Konservierung mit der Gefriertrocknungsmethode beträgt 2–3 Monate.

Der Materialpreis zusammen mit den Betriebs- und Amortisationskosten, bezogen auf das Naßholzgewicht, ist relativ hoch. Pro Kilogramm Naßholz muß mit Fr. 200.— bis Fr. 300.— gerechnet werden.

Unsere Anlage verbraucht pro Betriebsstunde bis etwa 1 ½ kW elektrische Energie. Der Arbeitsaufwand pro Stückeinheit ist sehr unterschiedlich. Es darf als Durchschnitt die Zeit eines halben Arbeitstages angenommen werden.

Die Erfolgsquote unserer Methode ist sehr gut. Wir dürfen behaupten, daß wir bis heute keinen irreparablen Mißerfolg gehabt haben. Es gab wohl Risse und Deformierungen, bei welchen wir aber nicht sicher sind, ob sie wirklich der Konservierungsmethode oder anderen Umständen zuzuschreiben sind.

Unser Museum ist heute Besitzer von etwa 600 gefriergetrockneten urgeschichtlichen Objekten aus der Jungsteinzeit und Urnenfelderkultur. Diese teilen sich in etwa 350 Hölzer, 150 Korbgeflechte und 100 Pflanzenfasergebilde auf. Eine große Anzahl der Korbgeflechte und Pflanzenfasergebilde wurde in verdankenswerter Weise während den Jahren 1972–1975 in der Anlage des Landesmuseums in Zürich getrocknet.

Die technischen Einrichtungen sind, wie aus dem vorliegenden Text zu entnehmen ist, sehr anspruchsvoll. Die Anschaffungskosten für unsere Anlage, die wir aus den verschiedenen Elementen selber zusammengebaut haben, betrugen 1975 etwa Fr. 21 000.—.

Die Gefriertrocknung ist weder mit Feuer- noch mit Explosionsgefahren verbunden, auch sind keine gesundheitlichen Schädigungen zu befürchten.

Bezugsquellen der Chemikalien

PEG 400 (Polyäthylenglykol): Plüss-Staufer, CH-4665 Oftringen.
Mikrokristallines Wachs 74/76 °C, Typ LM 65: Interwax und Plastic AG, 8005 Zürich.
Uhu-hart (Klebstoff): Drogerie.

6. Die Methode Carbowax [Hinweis]

von Jakob Bill

In der Schweiz wird diese Methode nicht labormäßig angewendet. Für den hier darzustellenden Methodenvergleich schien es indessen angezeigt, auch diese Behandlungsart einzubeziehen, besonders da sie in mehreren europäischen Ländern als relativ einfach anzuwendendes Verfahren gepriesen wird.

Wir haben eine Probeserie im chemisch-physikalischen Labor des Schweizerischen Landesmuseums zur Behandlung entgegengenommen. Nach 5 Monaten wurde die Konservierung aber abgebrochen und die Hölzer der Lufttrocknung überlassen. Auf eine Methodenbeschreibung wird hier verzichtet[47]. Hingegen sei auf die verschiedenen bestehenden Arbeiten verwiesen, die auch die vielfältigen Rezeptvarianten darstellen. Seit ihrer Einführung durch R. Morén und B. Centerwall[48] wurde die Polyäthylenglykolmethode oft umgewandelt und den jeweiligen Situationen angepaßt. Besonders für große und sperrige Objekte (Schiffswracks) ist die langwierige Imprägnation mit PEG die einzige Methode, die Originalfunde einigermaßen zu erhalten. So waren L. Barkmann mit der «Wasa» und D. Noak mit der «Bremer Kogge» vor große Probleme gestellt[49]. Unterdessen ist die Carbowax-Methode an weiteren Großobjekten modifiziert worden[50]. Aber auch innereuropäische Länder haben für kleinere Volumen mit der Behandlung mittels Carbowax angefangen[51]. Wieweit sich das für Spitzenobjekte lohnt, wird erst die Langzeiterfahrung zeigen. Die Methode bringt, das wissen wir schon heute, keine definitive Konservierung, sondern nur eine Stabilisierung.

Unser nach 5 Monaten abgebrochener Versuch hat eine Person während dieser Zeitspanne rund 38 Stunden beschäftigt.

7. La méthode de traitement des bois gorgés d'eau par imprégnation et irradiation gamma [Styren-Polyester-Strahlenpolymerisation]

de Christian de Tassigny et André Ginier-Gillet

Méthode de traitement

Traitements préalables

Le bois gorgé d'eau ne subit pas de traitement chimique préalable au procédé de conservation mis en œuvre au Cen-Grenoble.

Les bois gorgés d'eau doivent être nettoyés *avant* traitement. L'élimination des matières indésirables (débris végétaux, boue, craie, sable, etc.) est plus facile avant traitement. Le nettoyage du bois qui relève du choix de l'archéologue ou du responsable de la conservation ultérieure de l'objet n'est pas effectué par le laboratoire de traitement.

Procédé de conservation

Principe

Le traitement mis en œuvre depuis 1972 au Cen-Grenoble (Nucléart) consiste à remplacer en milieu liquide l'eau du bois gorgé d'eau par une résine liquide (méthode des bains successifs)[52] (Fig. 37–38). Le bois gorgé de résine est ensuite exposé devant une source de cobalt 60: la résine est durcie dans le bois par polymérisation radiochimique sous rayonnement gamma (1,17 et 1,33 MeV). Ces deux étapes du traitement sont indépendantes. Il en résulte sur le plan pratique plusieurs avantages:

Il existe un grand nombre de monomères et de résines ou de leurs combinaisons qui sont radiodurcissables sous rayonnement gamma: l'éventail des produits de consolidation éventuellement disponibles est très large.

La durée d'imprégnation n'est pas limitative, car la résine ne contient pas de durcisseur, ce qui laisse à la résine le temps de pénétrer à cœur.

La vitesse de diffusion d'un monomère dans les cellules du bois est inversement proportionnelle au poids moléculaire du monomère[53]. L'utilisation des liquides à faible poids moléculaire permet d'augmenter la vitesse de pénétration.

Le rayonnement gamma joue le rôle d'un durcisseur très pénétrant: les pièces de bois imprégnées à cœur sont durcies d'une façon homogène.

Les conditions opératoires de l'irradiation peuvent être choisies pour obtenir une élimination superficielle de la résine: la surface du bois ne garde aucun aspect «plastique».

Le rayonnement gamma émis par le Cobalt 60 n'induit pas de radioactivité: les objets irradiés ne sont pas radioactifs.

Mode opératoire

Le traitement se déroule en 2 phases: une imprégnation du bois par une résine styrène-polyester suivie du durcissement de la résine dans le bois.

Imprégnation

Le remplacement de l'eau par une résine styrène-polyester est effectué en milieu liquide. La résine n'est pas soluble dans l'eau. L'eau du bois est remplacée par un solvant, puis le solvant est échangé par la résine.

Echange eau–solvant: L'échange est réalisé dans une série de bains successifs: le bois gorgé d'eau est habituellement plongé successivement dans 4 bains d'acétone dont les volumes respectifs sont de l'ordre de 4 fois le volume du bois. L'état d'avancement de l'échange est contrôlé par analyse de la teneur en eau du bain d'acétone. L'échange est achevé lorsque la teneur en eau du dernier bain est stable et de l'ordre de 1 %.

Echange solvant–résine: Le même processus est répété pour remplacer le solvant qui a gorgé le bois, par une

résine styrène-polyester (un mélange de résines A750 et 703 Rhône Progil dont la teneur en styrène ne doit pas dépasser 50% en poids). L'échange est achevé lorsque la teneur en acétone du dernier bain est stable et ne dépasse pas 1%.

La durée des échanges eau–solvant–résine dépend de l'essence du bois, de sa forme et de ses dimensions, de son état de dégradation et de sa teneur en eau. Elle peut varier de 2 mois pour de petits objets (20 g) à 6 mois pour des pièces plus grandes et plus épaisses (20 cm) d'épaisseur).

Durcissement

Le bois gorgé de résine est déposé dans une casemate d'irradiation où il est soumis à l'action du rayonnement gamma émis par une source de cobalt-60 (100000 Ci dans l'installation du CEN-GRENOBLE). La polymérisation de la résine est exothermique.

L'intensité de la dose est adaptée pour limiter l'élévation de la température à environ 60 °C. Le durcissement est obtenu avec une dose voisine de 3 Mrd. La durée de l'irradiation est d'environ 48 h.

Traitements ultérieurs ou finaux

Le mode opératoire de consolidation ne comporte pas d'autre traitement final.

Il est possible pour certains bois traités dont la surface est jugée trop poreuse et trop fragile d'effectuer une consolidation superficielle complémentaire. Le procédé utilisé est appliqué couramment dans le même laboratoire pour consolider des matériaux secs et poreux. L'objet sec est imprégné «sous vide» par la même résine styrène-polyester puis durci sous rayonnement gamma. Le résultat sur un objet en bois gorgé d'eau est un durcissement de la surface.

La méthode de traitement des bois gorgés d'eau appliquée au CEN-GRENOBLE ne concerne que la consolidation du bois. Les procédés de restauration traditionnels des bois secs sont applicables aux bois traités: décoloration, coloration, collage, vernissage, etc.

LIMITES DE LA MÉTHODE

Conservation

Etats particuliers du bois

Quelques modifications ont été observées au cours de certains traitements:

Modification de la courbure d'un manche en bois néolithique (frêne): manche redressé en cours de traitement.

Décollement de parties carbonisées qui adhéraient à une partie saine du bois sous-jacent. Ces fragments peuvent être recollés après traitement.

Matériaux composites

Les traitements des bois gorgés d'eau composites ont été effectués suivant le même mode opératoire. Des résultats satisfaisants ont été obtenus sur des bois qui comportaient des parties métalliques en bronze, en fer, en plomb.

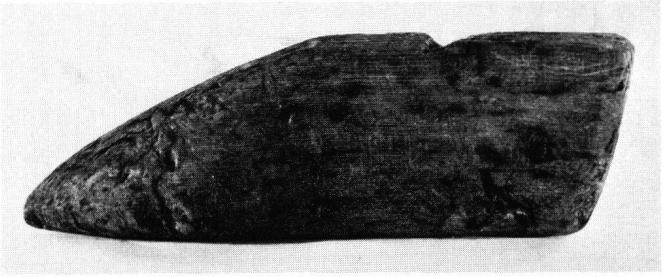


Abb. 37 Charavines (Département Isère, Frankreich), «Station des Colletières». Grabung 1975. 11.Jh.n.Chr. Schuhleisten. Styren-Strahlenpolymerisation 1976. Länge 25 cm.

Sont conservées:

Les traces d'usage: noircissement du bois par des utilisations culinaires par exemple.

Les matières végétales qui adhèrent à la surface: écorce, herbes, racines de joncs, etc...

Les sédiments.

Les incrustations de coquillages marins: tarets...

Des bois gorgés d'eau ferrugineuse (provenant de sources) et d'eau salée (bois marins) ont également été traités.

Fidélité dimensionnelle

Les écarts dimensionnels observés au cours du traitement correspondent à des retraits dont la proportion varie principalement selon le sens et l'état de dégradation du bois: les retraits les plus importants peuvent atteindre 7% dans le sens tangentiel, sont moindres dans le sens radial et négligeables dans le sens longitudinal.

Possibilité de réparation et d'assemblage

Les fragments d'un même objet traités séparément peuvent être recollés par les procédés traditionnels de restauration.

Possibilité d'une nouvelle conservation

La méthode de consolidation actuelle consiste à durcir dans le bois des résines styrène-polyester. Ces polymères sont insolubles: l'extraction des polymères est impossible en profondeur dans le bois. (Des traitements de restauration de la surface sont applicables.) Cependant, la même méthode de consolidation pourrait être appliquée avec l'introduction d'autres monomères (méthacryliques par exemple) dont les polymères sont solubles dans des solvants organiques usuels. La possibilité théorique d'une extraction en profondeur existerait dans ce cas, à condition que l'avantage de disposer théoriquement d'une méthode d'extraction réversible sur plusieurs dizaines de centimètres de profondeur ne soit pas compensé par l'inconvénient d'une durée trop longue d'extraction.

Propriétés de surface

Objets susceptibles de présenter des fissures

Des bois cylindriques (troncs d'arbre par exemple) présentent parfois une fissure longitudinale. La fissure est due au retrait de la résine pendant la polymérisation. La largeur de la fissure (sens tangentiel) dépend de la forme, de l'essence et de l'état d'altération du bois.

On n'observe pas de fissures transversales, ni en surface ni en profondeur.

La consolidation du bois est continue et homogène du cœur à l'aubier.

On observe parfois des décollements de zônes brûlées.

Détériorations superficielles

La surface des objets est généralement bien conservée pendant et après le traitement: maintien des traces d'usages, des gravures, des traces d'outils, etc.

Dans certains cas un traitement de surface peut être utile pour fixer des fragments naturellement très fragiles à la surface du bois: matières végétales que l'on désire conserver, fragments d'écorce, fragments brûlés; une restauration traditionnelle par collage est suffisante dans ce cas.

Les propriétés mécaniques apportées durant la polymérisation sont généralement suffisantes pour que l'objet puisse être exposé, manipulé et transporté sans dommage. Le polymère dont il est rempli n'est pas hygroscopique et permet au bois de subir des variations hygrométriques d'ambiance, ou thermiques dues à l'éclairage.

Couleur et texture

Un traitement de décoloration peut être appliqué avant consolidation du bois, mais il n'est pas nécessaire: l'apparence visuelle de la surface du bois traité, sans trace de polymère, est celle d'un bois naturel.

Les travaux d'ébénisterie sur des bois secs sont applicables au bois traité: coloration, décoloration, vernissage, collage.

Comportement au vieillissement

Une observation régulière a porté sur 300 objets traités depuis 1972:

Les variations ambiantes du taux d'humidité paraissent être sans influence sur le comportement des bois traités.

Des fissures sont apparues sur une série de bois plusieurs mois après la fin de leur traitement: après avoir déterminé la cause (échanges insuffisants) le mode opératoire a été modifié en conséquence (teneur résiduelle en acétone inférieure à 1 % avant la polymérisation).

Il n'est apparu aucune attaque d'insectes ou de moisissures. Les bois traités sont par ailleurs stérilisés par la dose de rayonnement nécessaire à leur durcissement.

Critères technologiques

Volume maximal

La capacité de traitement actuelle du laboratoire est d'environ ½ tonne de bois par an.

La grandeur des objets est limitée par les dimensions intérieures de l'irradiateur: longueur 4 m.

Pouvoir de pénétration

La pénétration des produits d'imprégnation sans limita-

Abb. 38 Lyon (Département Rhône, Frankreich), «Rue Victor-Hugo / Rue Sainte-Hélène». Notgrabung 1975. Gallo-römisch (wahrscheinlich 2. Jh. n. Chr.). Pumpenstück aus Eichenstamm mit zwei eingelassenen Bronzemanschetten, aus einem Schacht. Styren-Strahlenpolymerisation 1977. Breite des Objekts 35 cm.

tion théorique est liée à la durée du traitement (cf. «imprégnation»).

Homogénéité

Le durcissement par rayonnement gamma permet un durcissement homogène du cœur jusqu'en surface.

Variation de masse

La densité du bois traité, voisine de 1, est proche de celle du bois humide.

Fragilité des objets traités

L'un des avantages du procédé est d'apporter au bois les propriétés de résistance mécanique des polyesters (cf. les résultats des essais en traction et compression sur les éprouvettes de bois néolithique, du bronze et récentes, publiés dans cet article).

Les bois traités doivent être manipulés avec l'attention requise pour des objets archéologiques mais sans précaution technique particulière.

Possibilités d'examens ultérieurs

Il est possible de déterminer l'espèce du bois, l'anatomie du bois, l'âge du bois par dendrochronologie.

Les échantillons de bois traité peuvent être préparés sous forme de lame mince.

Possibilités de développement

Comme il a été énoncé plus haut dans le «principe» il serait possible d'améliorer les caractères physico-chimiques du bois traité en remplaçant la résine utilisée actuellement par des produits radiodurcissables mieux adaptés.

Le mode opératoire pourrait être automatisé afin de réduire la durée de traitement et d'augmenter la capacité de traitement du laboratoire.

Complémentarité des méthodes

Un procédé analogue de consolidation des bois secs est utilisé dans le même laboratoire: il consiste à imprégner sous vide un matériau sec par une résine styrène-polyester et à le durcir sous rayonnement gamma.

Il a été appliqué à la stabilisation de bois gorgés d'eau déjà traités par d'autres méthodes (par exemple Arigal C), mais dont le vieillissement dans de mauvaises conditions climatiques provoquait une dégradation progressive des bois.

Ce procédé de stabilisation complémentaire pourrait être appliqué avantageusement à des bois traités par d'autres méthodes afin d'en concilier les avantages respectifs: fidélité dimensionnelle, préservation de surface, solidité, stabilité dans une ambiance climatique défavorable.

Critères économiques

Durée de traitement

La durée de traitement peut varier de 2 mois pour de petits objets (20 g) à 6 mois ou plus pour des pièces plus grandes et épaisses (20 cm d'épaisseur par exemple). Cette durée dépend de la forme du bois, de ses dimensions, de son essence et de son état d'altération.

Coût de traitement

Coût de matière première: environ 130 FF (environ Fr. 50.—) par dm^3 de bois gorgé d'eau. Ce coût indicatif dépend des dimensions et du nombre des objets contenus dans un lot de traitement. Une estimation des heures de main-d'œuvre ne peut être donnée que pour un cas précis. Ces heures dépendent des dimensions et de la forme de l'objet, de son état entier ou fragmentaire, de la possibilité de le traiter seul ou simultanément avec d'autres objets, etc.

A titre d'exemple on peut estimer que dans un lot de 10 objets traités simultanément, dont le volume respectif est de l'ordre du dm^3, il faut compter environ 4 heures de main-d'œuvre par objet.

MUSEALE WERTUNG DER PROBENHÖLZER UND DER KONSERVIERUNGSMETHODEN

von Jakob Bill

Eine Wertung der behandelten Probenhölzer vom musealen Standpunkt aus fällt schwer, da ihre Form weitgehend realitätsfremd war. Dies trifft besonders für die dünnen Brettchen zu. In der Praxis haben wir es nämlich neben stabartigen Hölzern, wie Axtschäften und Brettern, auch mit Hohlkörpern zu tun, wie Schöpfern, Tassen usw. So ist denn die hier versuchte Wertung bei aller angestrebten Objektivität subjektiv geprägt. Vom musealen Bedürfnis aus soll ein konserviertes Objekt für den Fachwissenschafter bestmöglich bearbeitbar sein. Spitzenstücke und für eine Objektgattung oder eine Bearbeitungstechnik aussagefähige Artefakte müssen dem Publikum in permanenter oder temporärer Ausstellung gezeigt werden können. Damit werden aber bereits verschiedene Ansprüche geltend