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

Rubrik: Zum derzeitigen Stand der Nassholzkonservierung : Diskussion der Grundlagen und Resultate eines von Fachlaboratorien 1976-1978 durchgeführten Methodenvergleiches

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: 31.07.2025

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

Zum derzeitigen Stand der Naßholzkonservierung

Diskussion der Grundlagen und Resultate eines von Fachlaboratorien 1976–1978 durchgeführten Methodenvergleiches

herausgegeben von Otto U. Bräker und Jakob Bill

Übersicht

Zur Problematik der Naßholzkonservierung (von Jakob Bill)

Zum Holzaufbau und zur Entwicklung der Naßholzkonservierung (von Jakob Bill und Bruno Mühlethaler)

Ergebnisse des Naßholz-Konservierungsversuchs, naturwissenschaftliche Wertung (von Otto U. Bräker, Werner Schoch und Fritz H. Schweingruber)

Die verschiedenen Methoden der Naßholzkonservierung:

1. Die Methode Lyofix DML (von Arnold Haas)
2. Die Methode Arigal C (von Beat Hug)
3. Die Alkohol-Äther-Harz-Methode (von Werner Kramer)
4. Die Gefriertrocknungsmethode (von Jörg Th. Elmer)
5. Die Methode Carbowax/Gefriertrocknung (von Beat Hug)
6. Die Methode Carbowax (Hinweis von Jakob Bill)
7. La méthode par imprégnation et irradation gamma [Styren-Polyester-Strahlenpolymerisation] (von Christian de Tassigny et André Ginier-Gillet)

Museale Wertung der Probenhölzer und der Konservierungsmethoden (von Jakob Bill)

ZUR PROBLEMATIK DER NASSHOLZKONSERVIERUNG

von Jakob Bill

Wer eine Museumssammlung besucht, die ur- und frühgeschichtliche Objekte birgt und ausstellt, dem muß sogleich auffallen, daß darin oft nur Gegenstände gezeigt werden, die aus Stein, gebranntem Ton oder Metallen gefertigt sind. Dies liegt vor allem an den Erhaltungsbedingungen der Grundsubstanz. Organische Materialien, wie Hölzer, Pflanzenfasern und Leder, verfallen langsam, wenn sie Sauerstoff ausgesetzt sind. So bleiben nur Objekte erhalten, die nicht oder nur in geringem Ausmaß mit Sauerstoff in Berührung kommen. In der Schweiz sind wir nun häufig in der glücklichen Lage, Bauhölzer, Holzgeräte, Textilien und Geflechte sowie vereinzelt auch Leder zu finden, die – weil sie unter Luftabschluß im Wasser lagen – nicht zerstört sind. Dennoch ist ihre Substanz immer stark abgebaut und hat nicht mehr die ursprüngliche Festigkeit. Solche Objekte müssen erhalten bleiben, und dazu müssen sie im Labor konserviert werden.

Oberstes Gebot bei jeder Fundbergung ist die Erhaltung eines kulturhistorischen Objektes für die Nachwelt. Solange es unberührt von Umwelteinflüssen im Boden oder auf dem Seegrund einsedimentiert ist, besteht nur eine relativ geringe Gefahr der Zerstörung. Allerdings kann auch ein Holzgegenstand bei schweren Überlagerungen durch den ausgeübten Druck verformt werden. Meistens ist menschliches Eingreifen in diese Umwelt der Grund zur Entdeckung eines solchen Objektes. Damit beginnt oft auch ein gefahrvoller Weg, denn die Entdeckung selbst kann dem Objekt Schäden bringen, weil bis zum Erkennen eines Gegenstandes eine noch so sorgfältige Handhabung der Grabungswerkzeuge das durch Jahrhunderte bis Jahrtausende in seiner Struktur geschwächte Holz verletzen kann. Das gleiche gilt auch für die anderen Fundkategorien, doch möchten wir uns hier vor allem auf Holzgeräte konzentrieren. Im ersten Fundmoment ist ein prähistorisches Holz in seinem Farbaspekt einem Rezentholz sehr ähnlich, besonders wenn seine Oberfläche nicht durch Einlagerung von Fremdmaterial verunreinigt und deshalb leicht gefärbt ist. Der Luft ausgesetzt, wird die Oberfläche aber sogleich durch Oxidation dunkel verfärbt, und wenig später ist es der ganze Körper. So können zum Beispiel Blätter bei der Entdeckung manchmal noch ihre grüne Farbe haben, innert weniger Augenblicke aber braun werden. Beim Auffinden eines Holzobjektes gibt es also zwei kaum verhütbare Ver-

änderungen: eine Verletzung der Originaloberfläche und eine Farbveränderung. Nach der Entdeckung muß unser Objekt zuerst ganz freigelegt, dann aus seiner Umgebung herausgelöst und schließlich verpackt werden. Dies hat so zu geschehen, damit es zu keinem nennenswerten Wasserverlust kommt, denn sonst beginnt die zerstörende Wirkung der Dehydration, verbunden mit Schrumpfungen und Rissen, die nicht wieder geschlossen werden können. Zerbrechliche und leicht zerdrückbare Objekte – und dies sind hölzerne Artefakte praktisch immer – müssen unbedingt so geborgen und verpackt werden, daß möglichst kein weiterer Substanzverlust entsteht. Am besten ist eine Herausnahme «en bloc» mit einer Isolationsschicht rund herum und einer Gipsbandage zur Stützung des Paketes. Einzelobjekte werden manchmal auch in einem Wasserbehälter schwimmend dem Labor übergeben, doch ist dies nicht immer dem Fundgegenstand zuträglich. Solche Transporte bergen weitere Gefahren. Im Labor sollte der Fund auf alle Fälle sogleich dokumentiert werden, zum mindesten fotografisch. Damit liegt nun aber die Verantwortung für die Erhaltung für die Nachwelt nicht mehr allein beim Finder, sondern auch beim Labor. Hier muß nämlich entschieden werden, auf welche Art das Holzobjekt behandelt werden soll. Dazu gibt es heute verschiedene Methoden, und da diese zudem oft nicht im gleichen Labor und zum Teil auch auf verschiedenartige Weise angewandt werden, stellen sich immer wieder Fragen nach deren Anwendungsbereichen. Vor allem muß das Endprodukt der Konservierung auf die musealen Absichten abgestimmt sein – es muß am Schluß ausgestellt werden können. Vermehrt werden aber auch die Naturwissenschaften beigezogen, um Detailuntersuchungen durchzuführen. Holzartbestimmung, Jahrringmessung und damit die Möglichkeit einer exakten Datierung wie auch die Bestimmung eines ursprünglichen Wuchsortes gehören zu den Grundlagen für eine möglichst getreue Rekonstruktion des menschlichen Geschichtsbildes in seiner natürlichen Umgebung.

Über die Jahre hat sich gezeigt, daß sich althergebrachte, aus dem Handwerk und dem Haushalt übernommene Konservierungsmethoden nicht behaupten können, da sie auf die Dauer nicht den gewünschten Erfolg gebracht haben. Die so präparierten Objekte sind heute fast so unansehnlich wie unkonservierte Hölzer und entsprechen in Form und Farbe kaum mehr dem Fundzustand. Die anzuwendende Methode sollte deshalb wenigstens für eine gewisse Zeit Gewähr bieten, den Fundzustand zu erhalten, um eine Weiterbehandlung in einem späteren Zeitpunkt zu ermöglichen. Ideal wäre eine totale Reversibilität der Konservierung, doch muß dies heute mehr denn je als Utopie betrachtet werden.

Bei früheren Funden konnte man die Objekte nicht oder nur sehr stark deformiert erhalten, so daß man auf verschiedene Art versucht hat, der langsamen Zerstörung vorzubeugen. Hiezu seien nur zwei Beispiele genannt. Ein früher Konservierungsversuch wurde an einer keltischen Monumentalskulptur aus dem antiken Hafen von Genf vorgenommen. Nachdem das aus einem Eichenstamm geschnitzte Bildwerk 1908 entdeckt worden war, wurde es für drei Jahre im Wasser belassen, bis man sich für eine möglichst langsame Austrocknung entschied. Wohl als Maßnahme gegen die mit Sicherheit zu erwartenden Schwundrisse wurde die Skulptur mit verschiedenen Materialien (Leinöl, Wachs oder Paraffin und Harz/Glyzerin) imprägniert. Nach fast 65jährigem «Museumsdasein» zeigten sich eine teerartige Ausscheidung und andere Zerfallserscheinungen, so daß die Holzfigur 1974 dem Schweizerischen Landesmuseum zur Rekonservierung und teilweisen Ergänzung anvertraut wurde[1]. Der kürzlich vorgenommene Zweiteingriff konnte den Zerfall aufhalten, und die aufklaffenden Risse wurden kosmetisch geschlossen, so daß das Objekt heute wieder ein Prunkstück der Sammlung des Musée d'Art et d'Histoire in Genf bildet.

Eine Pioniertat in bezug auf die Formerhaltung wurde während der Plangrabungen in der Station La Tène am Neuenburgersee zwischen 1907 und 1917 vollbracht[2]. Man fertigte Gipskopien der wichtigsten Holzgeräte im Fundzustand an. Diese stellen immer noch einzigartige Zeugen eisenzeitlicher Handwerkskunst dar und finden als gute Ausstellungsobjekte Verwendung. Selbstverständlich sind sie formgetreu geblieben, während die wenigen übriggebliebenen Holzreste einen eher kläglichen Eindruck machen. Eine naturwissenschaftliche Auswertung ist hier natürlich nur noch beschränkt möglich. Heute wird beim Eingang von bedeutenden Naßholzobjekten zuerst im Labor beraten, welche Konservierungsmethode die geeignetste sei. So geschah es auch bei den von R. Perini dem Schweizerischen Landesmuseum anvertrauten, zum Teil spektakulären Funden aus den beiden bronzezeitlichen Siedlungen von Fiavè «Carera» (Provinz Trento, Italien[3]), von denen hier nur das Unikat eines geflochtenen Helmes erwähnt werden soll. Seine Herstellung aus Rottannenästchen (Picea abies L.), die über horizontal umlaufende Stäbchen aus wolligem Schneeball (Viburnum lantana) und Rottanne geflochten sind, zeigt eine Fertigkeit gegenüber der Materie wie auch ein Wissen um die Elastizität des so entstehenden Objektes. Für die Konservierung wurde hier angesichts der Verwendung verschiedener Holzarten und der relativen Dünne des Materials die Methode der Gefriertrocknung vorgezogen, nach einer Vorbehandlung mit Carbowax und einer abschließenden Imprägnation mittels eines dünnflüssigen Epoxidharzes (Abb. 1)[4].

Wie wir weiter unten sehen werden, hat es sich in der Praxis gezeigt, daß die heute angewendeten Konservierungsverfahren bei kleineren Objekten gute Resultate erzielen, was die Formerhaltung betrifft. Probleme stellen vor allem voluminöse Objekte sowie der trotz Gegenmaßnahmen entstehende Schwund gewisser Hölzer. Von

mehreren Stellen wird auch nach vereinfachten Konservierungsmethoden gefragt, die entweder eine größere Kapazität der bestehenden Labors erlauben würden oder auch in kleineren Museen und Feldlabors angewendet werden könnten. Der Anfall rettenswerter Hölzer hat in den letzten Jahren allein in der Schweiz sprunghaft zugenommen, und die Kapazität der holzkonservierenden Laboratorien kann momentan nur noch bedingt Schritt halten. Die Schweiz steht hier gewiß nicht allein da. Das belegt der Umstand, daß auch der Anfall von ausländischen Konservierungsgesuchen derzeit sehr groß ist, werden doch in fast allen europäischen Ländern plötzlich viele Naßhölzer gefunden. Dazu kommt die teilweise unbefriedigende nachträgliche Bestimmbarkeit von nach gewissen Methoden konservierten Hölzern durch den naturwissenschaftlichen Bearbeiter. Mit der Häufung dieser Probleme war es Zeit, alle in der Schweiz praktizierten Holzkonservierungsmethoden bei einem Treffen der Beteiligten zu diskutieren und zu vergleichen. Dieser erste Gedankenaustausch fand am 11. März 1976 im Schweizerischen Landesmuseum statt, wobei methodische, museale und naturwissenschaftliche Aspekte erörtert worden sind[5]. Die dabei gewonnene Bestandesaufnahme wäre aber ohne einen objektiven Methodenvergleich unvollständig geblieben. Deshalb wurde beschlossen, anhand einer Serie möglichst gleichartiger Probehölzer aus verschiedenen Zeitepochen Vergleichsproben vorzunehmen, sie dann zu testen und zu diskutieren. Aus diesem vorerst bescheiden anmutenden Vergleich ist nun die Basis für die hier vorliegende Arbeit entstanden. Zu einer etwas fortgeschrittenen Zeit konnte dem Versuch auch die in Grenoble angewandte Strahlenpolymerisationsmethode angeschlossen werden, so daß diese sich besonders für eine Massenproduktion anbietende Konservierungsart hier einbezogen werden konnte. Allen beteiligten Institutionen sei für ihr spontanes Entgegenkommen, eine Probenserie mit nicht unbedeutendem Zeit- und Materialaufwand zu behandeln, bestens gedankt. Am 2. März 1978 trafen sich die Beteiligten in der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen in Birmensdorf zu einer gemeinsamen Aussprache über den Versuch. Die mit der Ausführung der Konservierung Betrauten haben über ihre Arbeit Buch geführt und diese Unterlagen zur Auswertung übergeben[6]. Im April 1978 standen die Proben für alle Beteiligten zur eigenen Taxation in der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen bereit, wo sie im Klimaschrank vorläufig gelagert sind. Die nachfolgend dargelegten Gedanken beruhen auf den ausgewerteten Probenserien. Mit einem namhaften Beitrag hat der Emil-Vogt-Gedächtnis-Fonds die Drucklegung dieses Berichtes und vor allem dessen reichhaltige Bebilderung gefördert, wofür wir an dieser Stelle vielmals danken. Die geplanten Alterungsversuche konnten noch nicht durchgeführt werden, eine wirklichkeitsgetreue Alterungsbeschleunigung ist vollumfänglich nicht oder nur äußerst kostspielig erreichbar.

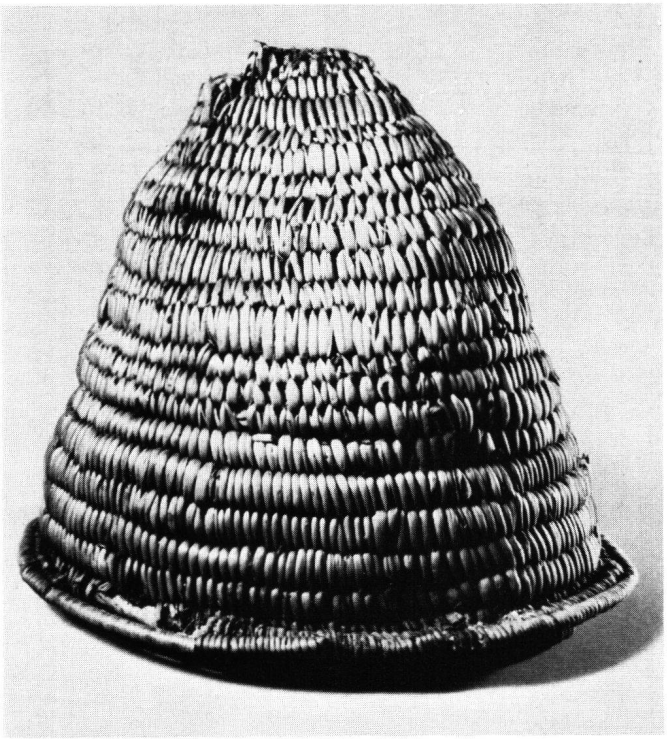


Abb. 1 Fiavè (Provinz Trento, Italien), «Carera». Grabung 1975. Frühbronzezeit. Helm, geflochten aus Rottannenästchen und wolligem Schneeball. Höhe 22 cm. Konserviert mittels Gefriertrocknung nach Carbowax-Vorbehandlung und abschließender Epoxydharztränkung, 1976.

ZUM HOLZAUFBAU UND ZUR ENTWICKLUNG DER HOLZKONSERVIERUNG

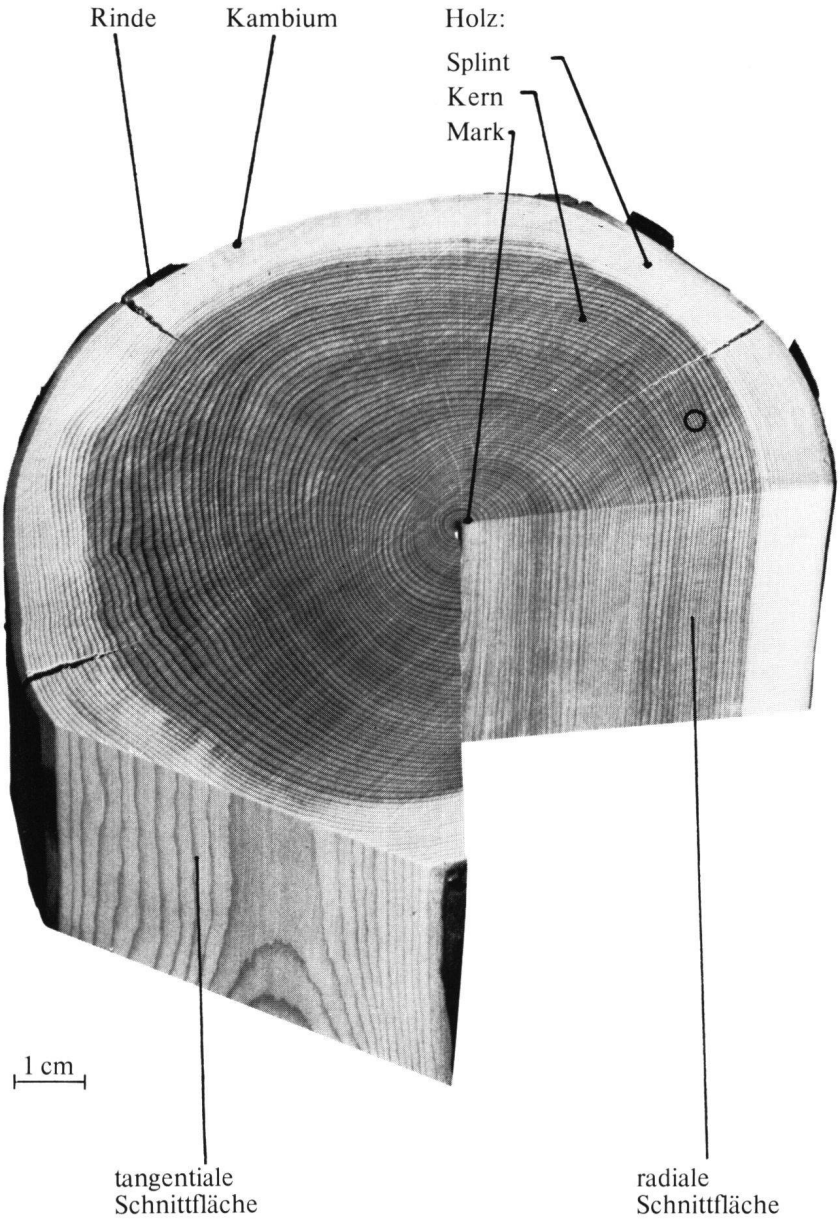
von Jakob Bill und Bruno Mühlethaler

Die hier vorgelegten Resultate bestätigen die Erfahrungen, die in den letzten 20 Jahren auch anderswo gesammelt worden sind. Es zeigt sich dabei einmal mehr, daß dem Kernpunkt des Problems nur untergeordnete Bedeutung beigemessen wird. Dieser Kernpunkt ist die Primärmaterie, *das Holz*.

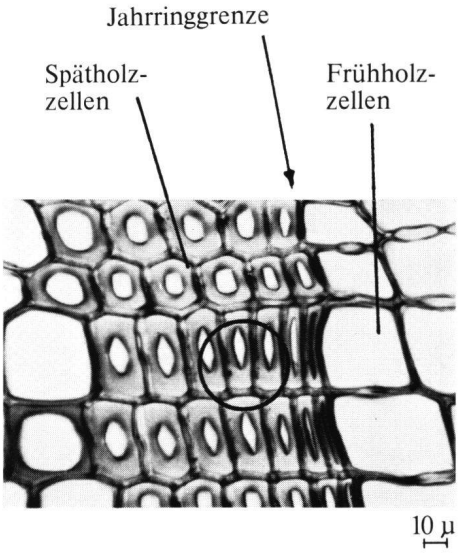
Das Holz besitzt eine vielfältige Struktur (Abb. 2), und der Zellaufbau ist je nach Art und Funktionseigenschaften unterschiedlich gestaltet. Die als axiale Wasserleitungen dienenden Tracheiden und Tracheen (bei Laubhölzern) haben zum Beispiel eine beschränkte Lebensdauer im Splintholz. Bei ihrem «Absterben» wird die Funktion geändert, in dem vor allem Harze und gummiartige Substanzen wie auch Gerbstoffe darin eingelagert werden: Sie bilden dann das Kernholz. Diese Auffüllung bedeutet aber auch, daß der axiale Austausch nur noch über kurze Distanz möglich ist und andererseits die Zellen eine weitere Stabilisierung erhalten. Die Zellwände ihrerseits bestehen zu rund 30–50% aus Zellulosefibrillen, die in verschiedenen Schichten angeordnet sind. Lignin mit einem Anteil von 20–30% ist wichtig für die Stabilität der Zellwände, da es die Hohlräume im Zellulosegerüst weitgehend ausfüllt. Durch die Differenzierung in Splint- und Kernholz und infolge der verschiedenen Strukturen des

A:
Makrophotographie eines Nadelholzes

Querschnittfläche



B:
Lichtmikroskopische Aufnahme eines Nadelholzquerschnittes
(Vergrösserung aus A)



C:
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Nadelholzzellwänden
(Vergrösserung aus B)

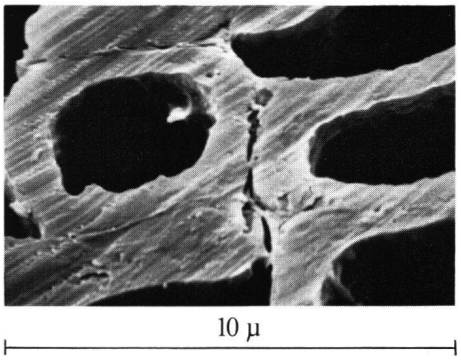


Abb. 2 Beobachtung von Nadelholzstrukturen mittels Makroskopie (A), Lichtmikroskopie (B) und Rasterelektronenmikroskopie (C).

Zellgewebes und der Zellwände entstehen unterschiedlich starke Holzteile mit verschiedenen Eigenschaften und Durchlässigkeiten. Dies wiederum hat seine Folgen auf die Konservierung. Bei Naßhölzern sind oft nur noch die Primärwände der Zellen erhalten; zum größten Teil ist die Zellulose, in geringerem Maß Lignin, abgebaut. (Die Hydrolyse geschieht sowohl in alkalischer wie auch saurer Umgebung.) Das bedeutet nichts anderes, als daß die ehemalige Festigkeit entscheidend reduziert wird und beim Austrocknen bzw. beim Ausgleich zwischen Körperfeuchtigkeit und Umgebungsfeuchtigkeit (im Normalfall Luftfeuchtigkeit) die Zellwände nicht mehr funktionstüchtig sind und kollabieren. Mit der Konservierung wird aber gerade die Erhaltung von Form und Volumen angestrebt, mit dem Anspruch, auch eine gewisse Festigkeit zu erzielen. Man muß also die festigenden Konservierungsmittel an die schwächsten Stellen der Holzstruktur bringen, dorthin, wo sie am nötigsten sind; man darf sich natürlich nicht nur auf die Oberfläche eines zu konservierenden Objektes beschränken. Dieselben Probleme stellen sich auch schon für die Vergütungsverfahren von Rezenthölzern[7], wo man sogar die natürliche Festigkeit noch zusätzlich verstärkt.

Dieses Problem wurde schon im letzten Jahrhundert erkannt und besonders durch die fast völlige Unmöglichkeit der Erhaltung von in Mooren beim Torfstechen geborgenen Holzobjekten in Dänemark aufgeworfen. In den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurde im Nationalmuseum in Kopenhagen zum erstenmal mit Erfolg versucht, das Wasser zu ersetzen und die Holzporen zu schließen. C. F. Herbst hat Naßholz in einer konzentrierten Alaunlösung während einiger Stunden gekocht; nach völliger Austrocknung wurden die Objekte mit Leinöl getränkt, um Luft und Feuchtigkeit möglichst fernzuhalten. In der Folge wurden Naßhölzer in den letzten 100 Jahren vielerorts nach der Alaunmethode konserviert. Etwa 1911 erreichte sie durch G. Rosenberg den Endstand der Entwicklungsmöglichkeiten. Im Schweizerischen Landesmuseum wurde sie aber erst seit den 1930er Jahren angewandt. Heute zeigt es sich, daß auch diese Methode sehr problematisch in ihrer Praktizierung war und die meisten behandelten Gegenstände rekonserviert werden müssen. F. Rathgen hat in seinem umfassenden Werk über die Konservierung die verschiedenen Verfahrensversionen zusammengestellt[8], nach denen versucht worden ist, Naßhölzer zu erhalten. Erst Ende der dreißiger Jahre wurde auf der Suche nach anderen Methoden mit einem neuen Produkt experimentiert. Zur Einbettung biologischer Präparate wurde das Harnstoff-Formaldehyd-Kondensationsharz Celodal (Behringwerke/Bayer) entwickelt und auch bei Naßhölzern in Anwendung gebracht[9]. Im Prinzip war dies eine Vorstufe zur Arigal-C-Methode, die aber zu wenig beharrlich verfolgt wurde. Diese Verfahren beruhen auf dem Prinzip, wasserlösliche Stoffe ins Holzinnere zu bringen und mittels Katalysatoren zu härten. Gleiches gilt für die von E. Vogt zuerst angeregten Versuche am Schweizerischen Landesmuseum, als 1945 zusammen mit einem Papierchemiker mit Carbamidharzen (ebenfalls ein Formalinharnstoff) Probehölzer konserviert wurden, nachdem bereits etwa 1943 mit dem Holzleim Melocol (Ciba) einige Objekte behandelt worden waren. Beide Verfahren sind aber damals nicht weiter verfolgt worden. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg ist die Suche nach neuen Verfahren intensiver aufgenommen worden. In Polen fand 1948 R. Cebertowicz eine Methode, um die instabilen Baugründe in Warschau zu «versteinern» und so den Fundamenten Halt zu geben. Diese Verkieselungsmethode wurde in der Folge auch für Hölzer aus Biskupin angewandt[10], konnte aber auf die Dauer den ästhetischen Ansprüchen nicht genügen. B. Brorson-Christensen hat die Tradition am dänischen Nationalmuseum fortgesetzt und besonders in den Jahren 1949–1951 verschiedene Methoden erkannt und getestet[11]. Ein großer Teil der Basisarbeit in Form der Verarbeitung und Zusammenfassung des verstreuten handwerklichen Erfahrungsschatzes geht auf diesen verdienten Museumsmann zurück. Sein Einfluß sollte vor allem durch die von E. Vogt veranlaßte Weiterentwicklung in Zürich wirksam werden.

Als die wichtigste stellte sich die Alkohol-Äther-Methode heraus. Von 1950 an kamen durch die Forschungsgrabungen von E. Vogt in den jungsteinzeitlichen Siedlungen Egolzwil 3 und 4 mannigfaltige Holzgegenstände zur Konservierung ins Labor des Schweizerischen Landesmuseums. Durch seine internationalen Beziehungen und seine Weitsicht hat Vogt erkannt, daß die Alkohol-Äther-Methode in Zukunft von großer Bedeutung sein werde. In der Folge wurde diese unter seiner Aufsicht durch W. Kramer zur Alkohol-Äther-Harz-Methode weiterentwickelt und seit etwa 1952 in großem Umfang angewandt[12]. Aber auch die Gefriertrocknung über tertiären Butylalkohol (Butanol), das Einbetten in eine Hartwachsmischung oder das Eingießen von kleinen und äußerst weichen Objekten in Polymethylmetacrylat wurden von B. Brorson-Christensen ausgeführt. Im Bernischen Historischen Museum wurde 1957/58 aus dem zur Textilfaservergütung verwendeten Arigal C (Ciba) eine Naßholzkonservierungsmethode entwickelt[13], die heute mit dem Ersatzprogramm Lyofix DML noch immer praktiziert wird[14]. Ebenso wurde in den fünfziger Jahren aus einem 1952 patentierten Holzschutzmittel durch die schwedischen Industriechemiker B. Centerwall und R. Morén die Polyäthylenglycol-(= Polyglycol = Carbowax-) Methode den musealen Zwecken angepaßt[15]. Gleichzeitig führte R. M. Organ am Britischen Museum Anwendungsversuche durch, die die Einschränkungen dieser Methode klarlegten[16]. Die Polyglycol-Methode ist heute in verschiedenen Varianten üblich.

Die Vakuumgefriertrocknung geht mehr oder weniger auf die von C. Mercié in den späten vierziger Jahren

verwendete Methode für botanische Pilzsammlungen zurück[17]. Einer der ersten Versuche, im Bereich archäologischer Großobjekte die Gefriertrocknung anzuwenden, wurde (kurz vor 1956) an einem 3 m langen Boot in Groningen duchgeführt[18]. Verbesserungen erzielte man durch die Kombination mit anderen Konservierungsverfahren und dem Fachwissen aus der Lebensmittelindustrie[19]. Anfang der siebziger Jahre kam die Azeton-Kolophonium-Methode an gut erhaltenen Hölzern mit zur erfolgreichen Erprobung[20]. Seit 1972 wird vom französischen Atomenergiekommissariat im Nuklearzentrum Grenoble das Projekt «Nucléart» verfolgt[21], wobei es sich um die Methode der Polymerisation von Styren-Polyester mittels Gammastrahlung handelt, ein Weg, der von R. A. Munnikendam aufgezeigt worden ist[22]. Am holztechnologischen Labor der Universität Thessaloniki wurde 1975/76 eine Methode erprobt, bei der Bariumborat und -silikat im Holzinnern ausgefällt werden, und in Nairobi ist man daran, diese Salzfällungsmethode zu verbessern[23]. Daß damit die Konservierungsforschung noch lange nicht abgeschlossen ist, mag der vorliegende Beitrag zeigen.

Die auftretenden Probleme führen periodisch zu wissenschaftlichen Zusammenkünften. So war das 1. Internationale Icomos-Kolloquium in Ludwigsburg, 1969[24], den Fragen der Holzkonservierung gewidmet, und 1973 fand ein Symposium über Naßholzkonservierung in Greenwich/London statt[25]. Ergab sich aus dem ersteren eine Standortbestimmung der Möglichkeiten, so widmete sich letzteres einem Gedankenaustausch über die Methodenverbesserungen und die Erfahrungen mit der Kolophonium-Harz-Imprägnation. Auch der hier vorgestellte Methodenvergleich ist als Teil einer sich fortsetzenden Reihe aufzufassen.

An unseren Museen sind derzeit solche Arbeiten wegen der bescheidenen Mittel, der überladenen Pflichtenhefte und der oft knappen Personalbestände sehr erschwert, und es resultieren aus ihnen meist nur sporadische Verbesserungen. Die entsprechenden Forschungen müßten auch in vermehrtem Maße interdisziplinär und außerhalb der eigentlichen Museumslaboratorien betrieben werden.

Die Anforderungen an Erhaltung von Form und Verbesserung der Festigkeit sind im allgemeinen mit den heute zur Verfügung stehenden Methoden und ihren Varianten möglich. Das natürliche Aussehen ist dem persönlichen Geschmack des jeweiligen Museumsmannes überlassen, kann jedoch oft kosmetisch korrigiert werden. Hingegen wird die mikroskopisch sichtbare Zellstruktur unter allen Umständen verändert, zumal dort, wo die Festigkeit des abgebauten Zellgefüges wieder hergestellt werden muß. So ist es sinnvoll, wenn gewisse Holzuntersuchungen noch vor der Konservierung durchgeführt werden. Den musealen Ansprüchen können Grenzen gesetzt sein durch ungünstige Klimabedingungen am späteren Aufbewahrungsort. Auf lange Sicht gesehen, ist die Schaffung optimaler Klimabedingungen am Aufbewahrungsort die primäre Voraussetzung für eine möglichst dauerhafte Erhaltung.

Die hier dargestellte Versuchsreihe ist noch nicht abgeschlossen. Es muß ihr eine Beobachtungsphase über das Alterungsverfahren folgen. Dabei ist zu beachten, daß extrem vom Normalfall abweichende Alterungsbedingungen zu unrealistischen Ergebnissen führen und somit beschleunigte Alterungsprüfungen für unseren Fall nicht besonders erfolgversprechend sind. Vielmehr muß man neben den Laboratoriumsversuchen unter extremen Bedingungen so früh wie möglich beginnen, die Prüflinge auch unter Bedingungen der natürlichen Umwelt über längere Zeit zu beobachten.

ERGEBNISSE DES NASSHOLZKONSERVIERUNGSVERSUCHES NATURWISSENSCHAFTLICHE WERTUNG

von Otto U. Bräker, Werner Schoch und Fritz H. Schweingruber[26]

Einleitung

Die im März 1976 in Zürich zusammengekommenen Praktiker der Naßholzkonservierung versuchten Lösungsmöglichkeiten für eine verbesserte Konservierung von Naßhölzern zu finden. Die unterschiedlichen Holzarten und Holzformen der vorgelegten Arbeitsproben erschwerten damals den methodischen Vergleich. Daher wurde beschlossen, eine Standortbestimmung und einen Methodenvergleich durchzuführen. Gemäß einem Versuchsprogramm wurden die Probenkörper zugeschnitten, von den beteiligten Laboratorien konserviert, anschließend wieder eingeholt und die Ergebnisse dokumentiert. Alle Beteiligten diskutierten und bewerteten die Resultate.

Dieser Text will neben der kritischen Präsentation und der technologischen Auswertung des Versuchsmaterials generell die teilweise bekannten Konservierungsprobleme umreißen und allenfalls Entscheidungshilfen für den Konservierungsablauf vermitteln. Wenn Konservatoren und Restauratoren daraus Vor- und Nachteile der Methoden erkennen und bei künftigen Konservierungen berücksichtigen, scheint uns das Versuchsziel erreicht zu sein.

Versuchsziele und Versuchsablauf

Generelle Aufgabe einer Konservierung ist es, ein hölzernes Objekt auf lange Zeit, das heißt über Jahrzehnte, zu stabilisieren und zu erhalten. Veränderungen der Form, der Struktur und der Textur eines Holzstückes, wie sie bei der Lagerung im Freien oder bei Bodenfunden auftreten, sollen gestoppt werden. Dabei werden folgende Ziele angestrebt:

- Erhalten der Form und der Dimensionen.
- Erhalten der Textur; Beachten von Farbaspekt, Oberflächenbeschaffenheit.
- Erhalten der Struktur und der Festigkeit; Beachten der Anatomie des Holzes, der Druck- und Biegefestigkeiten.

In Abbildung 3 wird die Konservierung gegenüber verwandten Tätigkeiten schematisch abgegrenzt. Die Konservierung geht von bestimmten Gegebenheiten der Fundstücke (so Fundsituation und Holzart) aus, welche qualitativ und quantitativ meist gut erfaßt werden können. Demgegenüber sind Konservierungsziele meist nur in vager Form vorgegeben. Genaue Angaben, wie die Objekte nach der Konservierung aussehen sollen, wurden vom Bearbeiter oder Auftraggeber zur Hauptsache subjektiv bestimmt. Die Abgrenzung zwischen Konservierung und Restaurierung ist unscharf. Es ist weitgehend eine Frage des Geschmackes, der archäologischen und der kunsthistorischen Interpretation, ob die Akzente mehr in Richtung Konservierung oder Restaurierung liegen. Hierin liegt eine erste Problematik, welche die objektive Beurteilung von Konservierungsergebnissen erschwert.

Die Ansprüche an das zu konservierende Objekt beeinflussen die Wahl der Methode und den Ablauf der Konservierung. Vorbehandlungen (wie Bleichungen) vor der eigentlichen Konservierung, entsprechende Schluß- und Nachbehandlungen (wie Schutzanstriche, Bemalungen) müssen der späteren Verwendung angemessen sein; dabei verändern wissenschaftliche, kulturelle und künstlerische Bedeutung des Objektes wie auch finanzielle und technische Verhältnisse im Konservierungslabor die Gewichtung der einzelnen Konservierungsziele. Bei einem künstlerisch wertvollen Ausstellungsobjekt wird das Hauptgewicht auf optimale Erhaltung der Form gelegt, bei einem Objekt für die Schüler- oder Studiensammlung sind die Festigkeitseigenschaften wichtiger. Leider sind die eingangs erwähnten Ziele mit keiner Methode optimal zu erreichen. Auftraggeber und Konservator werden sich daher vor der Konservierung über die Anforderungen an das Objekt Klarheit verschaffen und die Akzente festlegen. Bei der arbeits- und kostenintensiven Konservierungstätigkeit können nur noch die wertvollsten Holzobjekte mit dem maximal möglichen Aufwand bearbeitet werden.

Der Ablauf des Konservierungsversuches umfaßte die folgenden Schritte:

- Ermittlung aller in der Schweiz heute üblichen Konservierungsmethoden von Naßhölzern.
- Die Labors bearbeiten verschieden geformte, aber vergleichbare Probenkörper unterschiedlichen Abbaugrades mit ihren neuesten im Labor verwendeten Techniken.
- Wichtige Kenngrößen der Proben (Dimensionen, Gewichte) werden vor und nach der Konservierung gemessen und in einer Photodokumentation festgehalten.
- Die Veränderungen der Proben durch die Konservierung werden festgestellt, die Methoden verglichen.
- Die Schwierigkeiten der Methoden werden klargelegt und Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

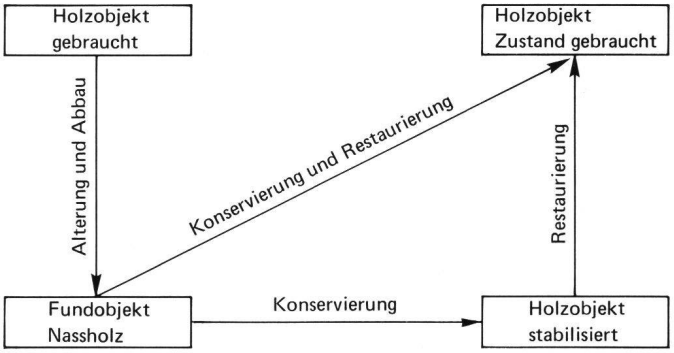


Abb. 3 Die Beziehungen zwischen einem Holzobjekt und dessen Konservierung und Restaurierung.

Die Entwicklung und die praktische Ausführung der einzelnen Konservierungsmethoden mit allen Varianten gelangen durch die Restauratoren in eigenen Beiträgen zur Darstellung. Grundsätzliche physikalische und chemische Eigenschaften und das Verhalten der Konservierungsmittel und der Konservierungsmaterialien bilden nicht Gegenstand dieses Textes. Es sei in diesem Zusammenhang auf die entsprechende Literatur verwiesen; beispielsweise der Autoren B. Mühlethaler, W. Dzbenski, D. Fengel, H. Bednar und D. Fengel, W.A. Oddy, Y. Trenard und P. Guéneau, Yu.V. Vikhrov und V.A. Borisov[27].

Die Methoden und die beteiligten Labors

Die Standortbestimmung wurde von folgenden Labors durchgeführt:

- Versuchsplanung, Probenbeschaffung, Materialprüfung, anatomische Untersuchung, Photodokumentation und Vergleiche durch O.U. Bräker, W. Schoch und F. Schweingruber, *Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf* (EAFV);
- Methode Lyofix DM (Melamin-Formaldehyd-Kondensationsharz) durch A. Haas, *Konservierungslabor Bernisches Historisches Museum, Bern;*
- Methode Arigal C (älteres Produkt, nicht mehr im

Handel, ersetzt durch Lyofix) durch B. Hug, *Laboratoire cantonal d'Archéologie, Neuchâtel;*
- Methode Alkohol-Äther-Harz durch W. Kramer, Konservierungslabor der archäologischen Abteilung, *Schweizerisches Landesmuseum, Zürich* (SLM);
- Methode Gefriertrockung-Harz durch J. Th. Elmer, Konservierungslabor der archäologischen Abteilung, *Schweizerisches Landesmuseum, Zürich;*
- Methode Carbowax-Gefriertrocknung durch B. Hug, *Laboratoire cantonal d'Archéologie, Neuchâtel;*
- Methode Carbowax (Polyäthylenglycol) durch B. Mühlethaler, Chemisch-physikalisches Labor, *Schweizerisches Landesmuseum, Zürich*[28];
- Methode Polyester-Strahlenpolymerisation durch C. de Tassigny, *Centre d'études nucléaires de Grenoble, Grenoble/France;*
- Redaktion durch O. U. Bräker (EAFV) und J. Bill (SLM).

Herkunft, Erhaltungszustand und Formen der Probenkörper

Um die im Fundgut hauptsächlich vorkommenden Materialklassen zu erfassen, wurden im Konservierungsversuch folgende Gruppierungen der Proben vorgenommen:

Strukturelle Gliederung:

Nadelholz	Weißtanne (Abies alba)
Ringporiges Laubholz	Eiche (Quercus sp.), Esche (Fraxinus sp.)
Zerstreutporiges Laubholz	Weide (Salix sp.)

Holzphysikalische Gliederung in Abbaustufen bzw. nach Alter:

Neolithische Hölzer	weich, Pfähle von Hand brechbar
Bronzezeitliche Hölzer	Kern hart, Splint weich
Mittelalterliche Hölzer	Kern hart, äußerster Splintteil weich
Rezente Hölzer	Kern und Splint hart

Die Abbauprozesse und die Gliederung der Proben in Abbaustufen werden weiter unten noch detaillierter besprochen.

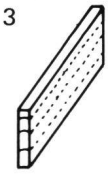
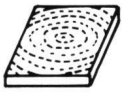
Die neolithischen Hölzer stammen aus dem Pfahlmaterial der Grabung Twann BE, die bronzezeitlichen Stämme aus der Grabung Auvernier NE Bronze Nord, die mittelalterlichen Pfahlhölzer vom Wasserschloß Burgwies bei Pfäffikon ZH und die rezenten Hölzer aus Birmensdorf ZH. Den zuständigen Mitarbeitern danken wir an dieser Stelle für die Überlassung des Probenmaterials.

Um die verschiedenen Konservierungsziele zu erfassen, wurden sechs unterschiedliche Probenformen ausgeschieden (Abb. 4):

Form 1 Kleiner Klotz, 2 × 2 × 4 cm, geeignet zum Prüfen der Dimensionsveränderungen (Quellen/Schwinden) und der Festigkeitseigenschaften (Druckfestigkeit, Rohdichte).

Form 2 Langer Stab, 2 × 2 × 20 cm, geeignet zum Ermitteln von Festigkeitseigenschaften (Biegefestigkeit, Rohdichte).

Form 3 Längsbrett, etwa 1 × 7 × 20 cm, geeignet zum

Probenform / Alter Epoche	1	2	3 	4	5 	6
Neolithikum	Tanne-P/K Eiche-P Weichholz-P	– Eiche-P –	Tanne Eiche Weichholz	– – –	Tanne Eiche Weichholz	– Eiche –
Bronzezeit	Tanne-K Eiche-K	Tanne-K Eiche-K	Tanne Eiche	Tanne Eiche	Tanne Eiche	– –
Mittelalter	– –	– –	– –	– –	Tanne Eiche	– –
Neuzeit	Tanne-K/S Eiche-K/S Weichholz-S	– –	– –	– –	– –	– –

Legende: P = Peripherie, K = Kern, S = Splint

Abb. 4 Formen, Alter und Holzarten der im Versuch verwendeten Proben.

Prüfen von Formstabilität und Dimensionsstabilität.

Form 4 Holzrugel (Rundling, Prügel), etwa 1 Liter Volumen, geeignet zum Prüfen der Form- und Dimensionsstabilität, des Diffusionsvermögens von Konservierungsmitteln und des Unterschiedes zwischen Kern und Splint.

Form 5 Querbrett, etwa 1 × 10 × 10 cm, geeignet zum Prüfen der Form- und Dimensionsstabilität und des Unterschiedes zwischen Kern und Splint.

Form 6 Angekohltes Holzsegment, etwa 2 × 8 × 10 cm, geeignet zum Prüfen des Unterschiedes zwischen Holz und Holzkohle am selben Objekt.

Die zur Verfügung stehenden Holzmengen ermöglichten die Herstellung einer beschränkten Anzahl von Proben. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, daß für jede der sieben Methoden regelmäßig gewachsene, astfreie Stücke mit möglichst ähnlichen Eigenschaften abgegeben werden konnten. Von den kleinen Klötzen (Form 1) konnten genügend Parallelproben hergestellt werden, die bei der Auswertung eine Berechnung von Mittelwerten erlaubten. Daneben wurden auch entsprechende Kontrollproben ausgeschieden, um Wassergehalte und Veränderungen unbehandelter Probenkörper zu bestimmen. Im ganzen gelangten 43 Probenkörper für jede Methode zur Konservierung. Ihre Gliederung nach Alter, Holzart und Form ist in Abbildung 4 dargestellt.

Wir sind uns darüber im klaren, daß die Ergebnisse dieser beschränkten Materialauswahl keine statistisch gesicherten Resultate ermöglichen. Es liegt an der Beschaffenheit des Naturproduktes Holz, daß keine identischen Proben herstellbar sind, wie dies beispielsweise bei andern Materialien, wie Metallen oder Kunststoffen, möglich ist. Aus der Gesamtheit der behandelten Proben sind jedoch die grundsätzlichen Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Methoden zu erkennen.

Ergebnisse aus dem Vergleich der konservierten Proben

Neben den Messungen und dem Berechnen prozentualer Werte von Veränderungen durch die Konservierung wurden an den Proben auch Beobachtungen und Taxierungen bestimmter Eigenschaften durchgeführt. Da beispielsweise die Qualität des Farbtones der konservierten Holzstücke je nach Geschmack oder Vorstellung des Gutachters unterschiedlich beurteilt wird, sind diese Punkte in der Wertung weggelassen worden. Für den Vergleich zwischen den Proben dienten folgende Kriterien:

1. Dimensionseigenschaften im Zusammenhang mit Quellen/Schwinden, Taxierung von Dimensionsveränderungen vor/nach der Konservierung.
2. Dimensionseigenschaften im Zusammenhang mit Verzug in Winkeln und Flächen, Taxierung von Formveränderungen vor/nach der Konservierung.
3. Rißbildung, getrennt nach Längsrissen radial und tangential,
   und
4. Rißbildung, quer, oberflächlich oder tiefgreifend.
5. Oberflächenbeanspruchung während der Konservierung (Arbeitsspuren).
6. Oberflächenverletzbarkeit nach einer Nachbehandlung; ist ein Finish nötig/nicht nötig.
7. Erhaltungszustand der Holzstruktur.
8. Homogenität der Konservierung im Innern von Rundkörpern.
9. Druck-/Biegefestigkeit.
10. Möglichkeiten einer Nachkonservierung.
11. Erfolgsquote.

Kriterien, welche sich durch Messungen oder Beobachtungen bewerten ließen, sind in einem ersten Abschnitt nach Konservierungszielen gegliedert dargestellt; Kriterien, welche durch Taxierungen zu beurteilen waren, werden im zweiten Abschnitt behandelt.

Messungen und Beobachtungen an den Proben

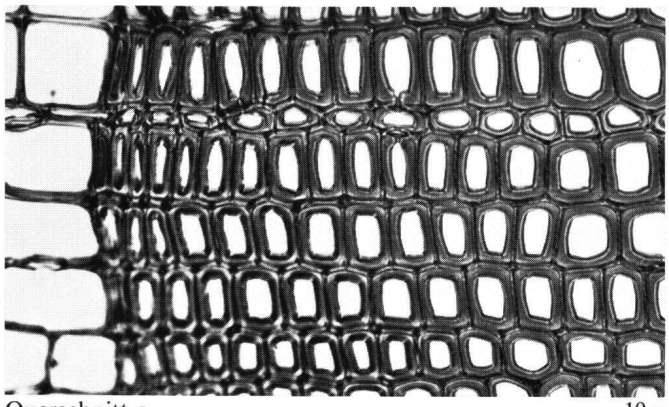
Erhaltung der Struktur

Die Erhaltung der Struktur ist für museale Belange eher nebensächlich. Aber die Holzstrukturen im Fundzustande liefern den eigentlichen Schlüssel und Ansatzpunkt zu den Konservierungsproblemen, welche in Zusammenhang mit Form- und Dimensionsstabilität stehen.

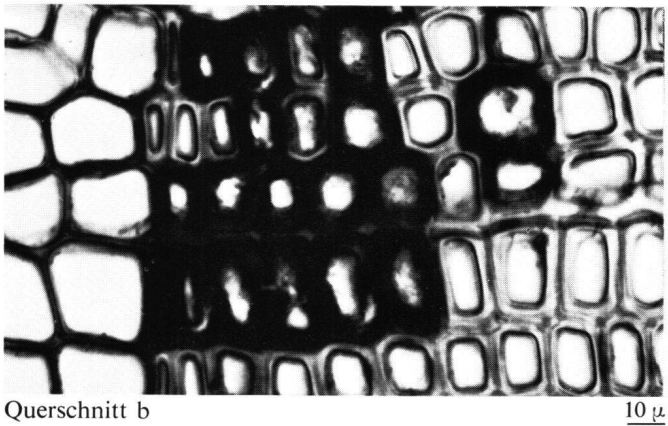
Der Abbau des Holzes erfolgt in feuchtem, sauerstoffreichem (aerobem) Milieu sehr rasch, in sauerstoffarmem (anaerobem) jedoch eher langsam. Unter normalen Bedingungen tragen vor allem viele Pilzarten zur Zersetzung der Zellwände bei. Bei anaeroben Verhältnissen, welche der Lagerung von Naßhölzern entsprechen, sind es vor allem Bakterien und Aktinomyzeten (Strahlenpilze), welche die Sekundärwände angreifen und zersetzen. Abbildung 5 zeigt die Abbauprozesse an der Zellwand von Kontrollproben. Genaue Angaben über den chemisch-biologischen Abbauvorgang können B. Schulze und G. Theden, V. Rypacek und F. H. Schweingruber[29] entnommen werden. Für die Konservierung ist es von Bedeutung, daß der Abbau nicht mit dem Alter zusammenhängt, sondern wesentlich vom Lagerungsmilieu abhängt.

Wie stark der Abbau an Fundstücken bereits fortgeschritten ist, läßt sich einerseits anhand der Weichheit (Fingernageltest) des Materials, andererseits mit dem Wassergehalt der Naßprobe gut feststellen[30]. Die Wassergehalte der Kontrollproben sind aus Abbildung 6 ersichtlich, sie lassen eine Gliederung in die Abbaustufen 1

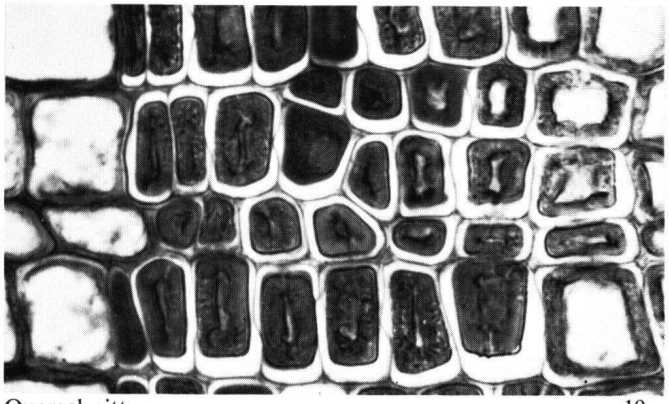
Tanne (Abies alba Miller)



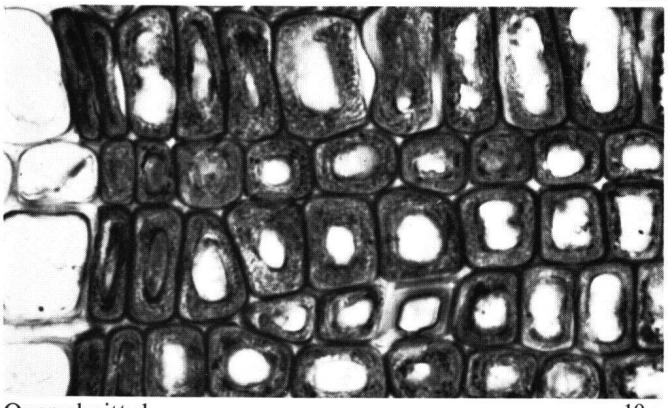
Querschnitt a 10 μ



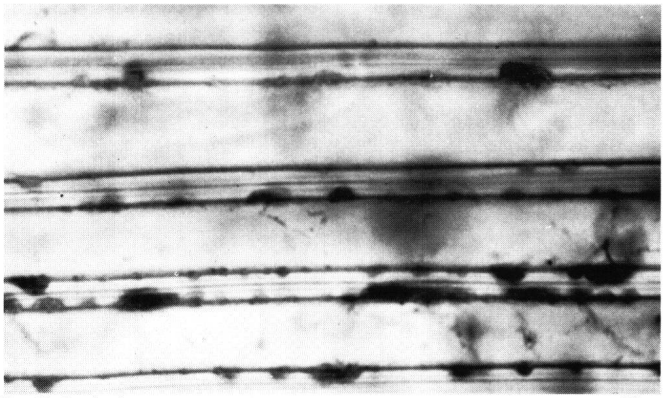
Querschnitt b 10 μ



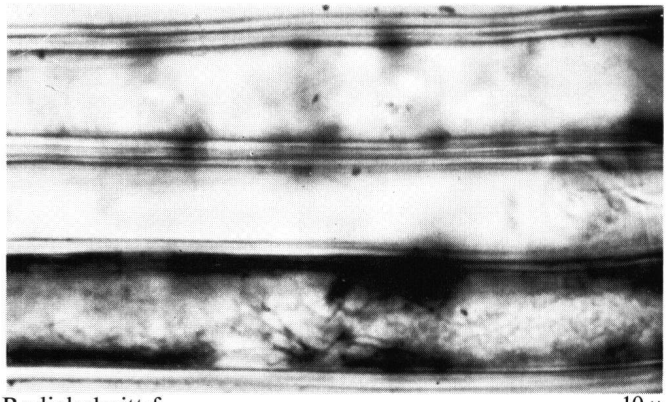
Querschnitt c 10 μ



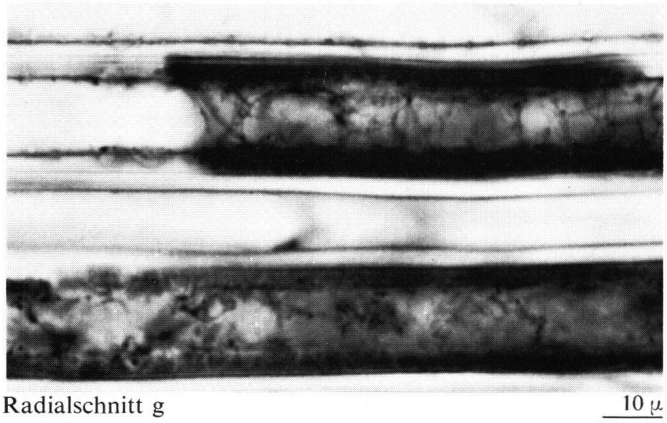
Querschnitt d 10 μ



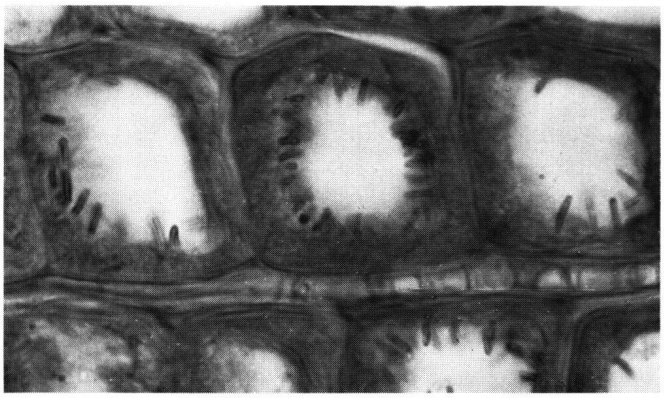
Radialschnitt e 10 μ



Radialschnitt f 10 μ



Radialschnitt g 10 μ



Querschnitt h 10 μ

Abb. 5 Mikroskopische Bilder der Abbauerscheinungen in wassergelagertem Nadelholz.
a–d Fortschreitender Zellwandabbau durch anaerobe (Milieu ohne Sauerstoff) Organismen, Querschnitte.
a Gesunde, nicht abgebaute Zellwände im rezenten Holz.
b Mosaikartiger Angriff von Strahlenpilzen (Aktinomyzeten) auf die Sekundärwand der Spätholzzellen. Das Holz hat in diesem Zustand etwa die Hälfte seiner Festigkeit verloren.
c Alle Zellen sind befallen; die Sekundärwände lösen sich von den Primärwänden. Das Holz ist schwammartig und weich.
d Alle Zellen sind befallen, und die Sekundärwände lösen sich auf. Das Holz zerfällt oder beginnt sich aufzulösen.
e–g Fortschreitender Angriff von Strahlenpilzen auf die Sekundärwände, Längsschnitte.
e Kariesartige Stellen in den Sekundärwänden des mosaikartig abgebauten Holzes (wie Abb. b).
f Ausbreitung des Schadens entlang der Zellwand.
g Völlige Zerstörung der Sekundärwand.
h Bakterien und deren Sekundärwandabbau im Spätholz, Querschnitt.

(unbedeutend abgebaut, rezent), 2 (wenig bis mäßig abgebaut) und 3 (stark abgebaut) zu. Das Gelingen einer Konservierung ist weitgehend vom Abbaugrad des Holzes abhängig. Stark abgebaute, aufgeweichte Hölzer werden vom Konservierungsmittel gut durchdrungen, die Konservierung wird dadurch erleichtert. Bei stark unterschiedlich abgebauten Hölzern (innen hart, außen weich) ist das Durchdringen und damit der Konservierungserfolg nicht immer gesichert.

Wassergehaltsänderungen im Holz bewirken ein Schwinden oder Quellen. Mit zunehmendem Abbaugrad führen diese Änderungen zu Schäden, das Holz reißt, einzelne Zellen kollabieren, die Holzstruktur wird geschwächt oder zerstört.

Jede Konservierung ändert den Wassergehalt des Naßholzes, löst also Schwindungsprozesse aus. Wir können zwischen zwei methodischen Richtungen unterscheiden. Die Alkohol-Äther-Methode und die Gefriertrocknung entfernen das Wasser aus dem Holzkörper; die andern Methoden ersetzen das Wasser durch ein stabilisierendes, aushärtendes Konservierungsmittel. Welche Veränderungen innerhalb der Zelle durch die verschiedenen Methoden auftreten, zeigt Abbildung 7. Die entsprechende Erklärung ist in der Abbildungslegende enthalten.

Strukturmerkmale sind für die Holzartenbestimmung unerläßlich. Durch Konservierungsmittel und Oberflächenschutz zerstörte oder unsichtbar gemachte Merkmale behindern oder verunmöglichen eine Bestimmung. Aushärtende Konservierungsmittel erschweren die Herstellung der notwendigen Mikroschnitte und verzögern die Bestimmung und die dendrochronologische Analyse der Hölzer. Anhand von Schliffpräparaten sind Polyester-Strahlenpolymerisationsproben einwandfrei zu bestimmen. Harzgetränkte Objekte dagegen lassen an Schnittpräparaten praktisch keine anatomischen Strukturen mehr erkennen. Für Altersbestimmungen mit der Radiokarbonmethode (^{14}C) eignen sich konservierte Hölzer – außer gefriergetrockneten (ohne Oberflächenschutz) – grundsätzlich nicht. Naturwissenschaftliche Untersuchungen sollen daher immer vor der Konservierung durchgeführt werden. Die Holzarten der meisten schweizerischen Hölzer können die Restauratoren selbst bestimmen.

Die oft geforderte Reversibilität einer Methode hängt stark von den Holzstrukturen und den eingebrachten Konservierungsmitteln ab. Harze und Polymereinlagerungen sind später aus dem Zellgefüge schwer herauszulösen. Lösungsvorgänge und organische Lösungsmittel können die noch vorhandenen schwachen Holzstrukturen zerstören. Neukonservierungen alter Objekte (zum Beispiel nach Alaun- oder Leinölkonservierungen) sind unseres Wissens in der Schweiz jedoch nie durchgeführt worden.

Strukturelle und chemische Eigenschaften des Holzes beeinflussen die Diffusionsvorgänge der Konservierungsmittel ins Innere von großen Proben. So sind Carbowax und Polyester gleichmäßig bis ins Zentrum des Holzrugels (Form 4) eingedrungen, Lyofix und Arigal hingegen diffundieren schlecht und haben die Hölzer im Innern ungenügend stabilisiert (Abb. 8).

Die Festigkeitseigenschaften der Hölzer nach der Konservierung sind nur beschränkt von der Holzstruktur abhängig. Bei stark abgebauten Hölzern übernimmt das Konservierungsmittel weitgehend die Stütz- und Festi-

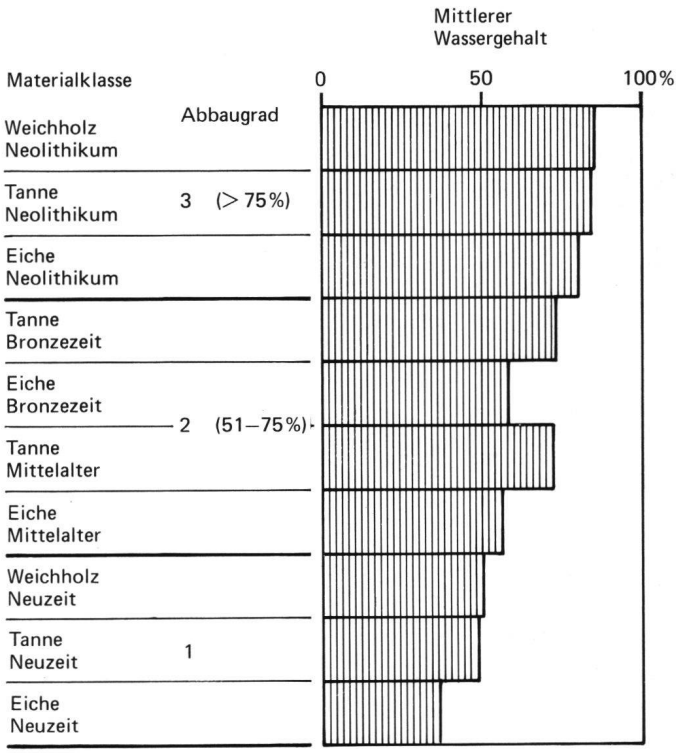
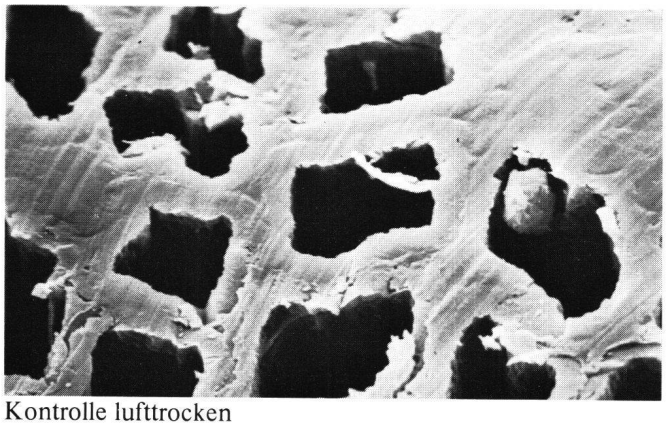


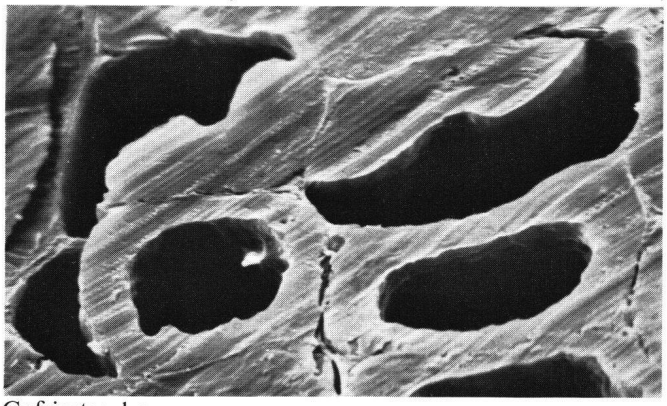
Abb. 6 Wassergehalt und Abbaugrad der einzelnen Materialklassen (Holzarten verschiedener Zeiten).

Neolithikum, Tanne (Abies alba Miller), Querschnitte

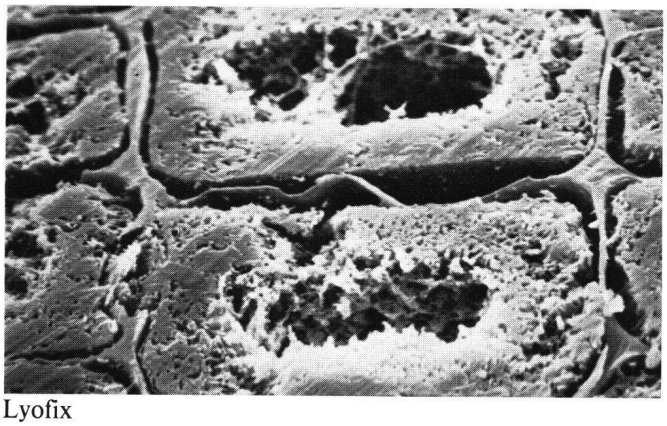
10 µ



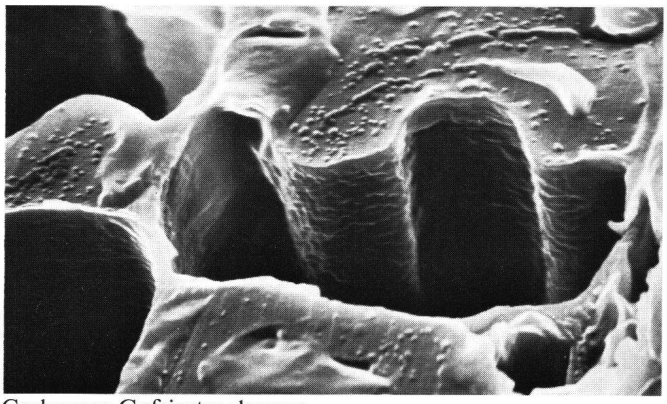
Kontrolle lufttrocken



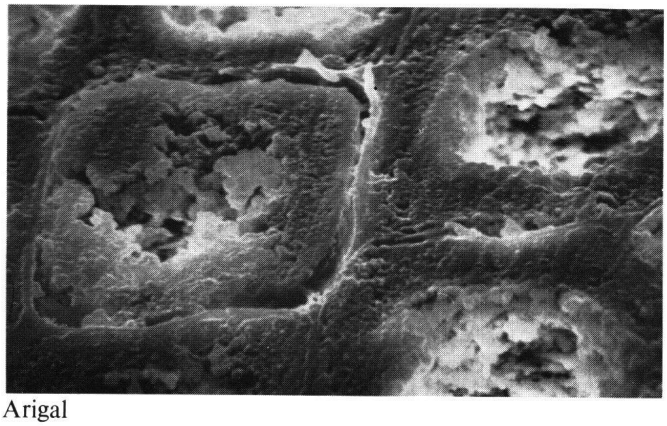
Gefriertrocknung



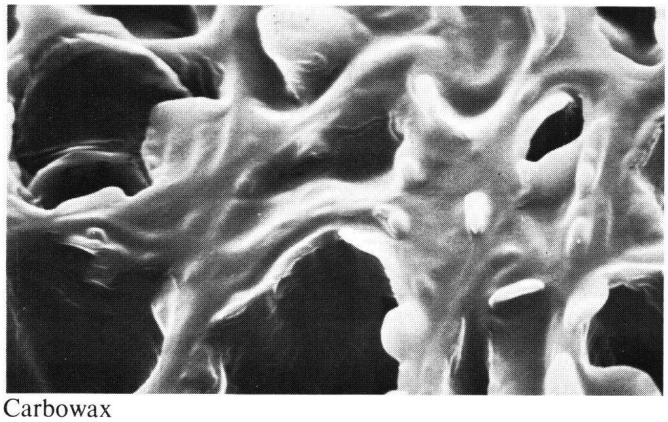
Lyofix



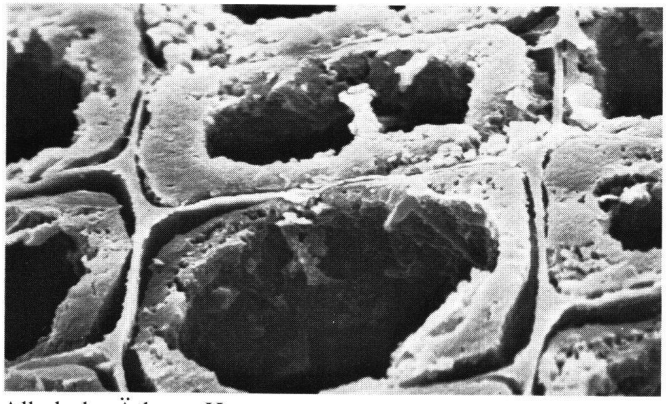
Carbowax-Gefriertrocknung



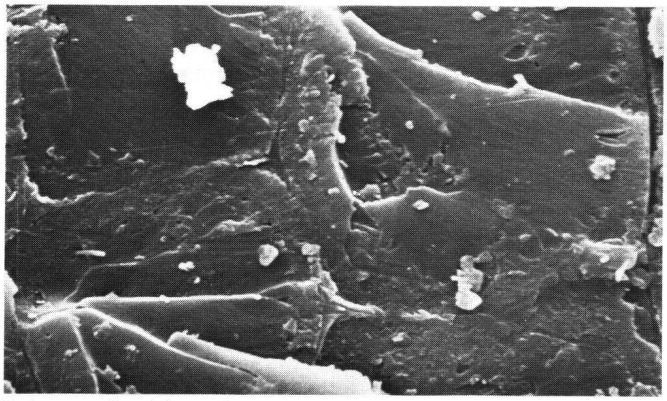
Arigal



Carbowax



Alkohol - Äther - Harz



Polyester-Strahlenpolymerisation

Abb. 7 Rasterelektronenmikroskopische (REM) Aufnahmen von neolithischen Tannenquerschnitten.

a Probe lufttrocken: Die stark abgebauten Zellwände schwinden bei der Austrocknung. Die Zellstrukturen bleiben erhalten, diejenigen der Zellwände gehen weitgehend verloren; Primär- und Sekundärwände sind kaum mehr zu unterscheiden.

b Lyofix: Das Konservierungsmittel schlägt sich bei optimaler Tränkung in den Zellwänden nieder und verhindert deren Schwindung. Die ursprünglichen anatomischen Verhältnisse des abgebauten Holzes bleiben erhalten (teilweise leichte Quellung).

c Arigal: Im Unterschied zu Lyofix «blüht» Arigal in gröberen Strukturen aus. Für anatomische Untersuchungen ist Arigal deshalb weniger geeignet als Lyofix.

d Alkohol-Äther-Harz: Jedes anatomische Detail ist erkennbar. Die Hohlräume in den Sekundärwänden sind noch vorhanden, und die von den Primärwänden gelösten Sekundärwände kollabieren nicht. Infolge des langsamen Austausches von Wasser, Alkohol und Äther bleiben die anatomischen Merkmale des abgebauten Holzes erhalten.

e Gefriertrocknung: Die Zellstruktur bleibt erhalten. Schwindungseffekte innerhalb der Sekundärwände lassen diese jedoch als unstrukturierte Masse erscheinen. Teilweise lösen sich die Sekundärwände ab und verkleben miteinander. Durch Tränkung des Gewebes mit Harzen wird die Bestimmung von Artmerkmalen sehr erschwert oder verunmöglicht.

f Carbowax-Gefriertrocknung: Mit dem Einbringen des plastischen Carbowax schwinden die Sekundärwände wesentlich weniger als bei der Gefriertrocknung allein. Das Konservierungsmittel überdeckt die Zellstrukturen, die Holzartenbestimmung ist aber infolge der Wasserlöslichkeit von Carbowax nicht stark beeinträchtigt.

g Carbowax: Das Einbringen von Carbowax in sämtlichen zugänglichen Hohlräumen verunmöglicht ein Schwinden. Die Zellstrukturen sind noch vorhanden und sind dank der Wasserlöslichkeit des Wachses für die mikroskopische Bestimmung zugänglich. Infolge des geringen Siedepunktes von Carbowax sind bei der REM-Aufbereitung blasenartige Artefakte entstanden, die nicht ganz den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen.

h Polyester-Strahlenpolymerisation: Das Styrenpolyester füllt nahezu jeden Hohlraum der Zellen auf. In Schliffpräparaten zeigt sich, daß jede anatomische Feinheit erhalten geblieben ist. Die REM-Methode ist für die Differenzierung zwischen Zellwänden und Einbettungsmittel ungeeignet (kein Kontrast).

gungsfunktion. Eine Tränkung und Einlagerung des Konservierungsmittels in den verbliebenen Zellwänden genügt normalerweise zur Festigung. Die vollständige Auffüllung der Hohlräume durch Lyofix oder Carbowax bewirkt keine weitere Festigkeitserhöhung. Die gemessenen Werte der Druck- und Biegefestigkeiten sind in Abbildung 9 dargestellt. Ungenügende Festigkeiten weisen die Hölzer mit starkem Abbaugrad (Stufe 3, Neolithikum) auf; nur die mit Polyester getränkten Proben sind stabiler als rezente, unkonservierte Hölzer. Mit Lyofix behandelte neolithische Proben sind jedoch genügend fest, um problemlos gehandhabt zu werden. Bei Methoden ohne Einlagern eines Konservierungsmittels (Gefriertrocknung und Alkohol-Äther-Methode) oder eines sehr weichen Mittels (Carbowax) weist die Festigkeit das niedere Niveau unkonservierter Proben auf, die sehr zerbrechlich sind. Durch Einbringen eines harten Mittels werden bei der Lyofix-Methode und bei der Polyester-Strahlenpolymerisation die Festigkeiten verbessert. Diese Feststellungen gelten sowohl für die Druck- als auch für die Biegefestigkeiten. Obwohl Carbowax eine geringe Druckfestigkeit aufweist, trägt das Mittel zur Erhöhung der Elastizität bei.

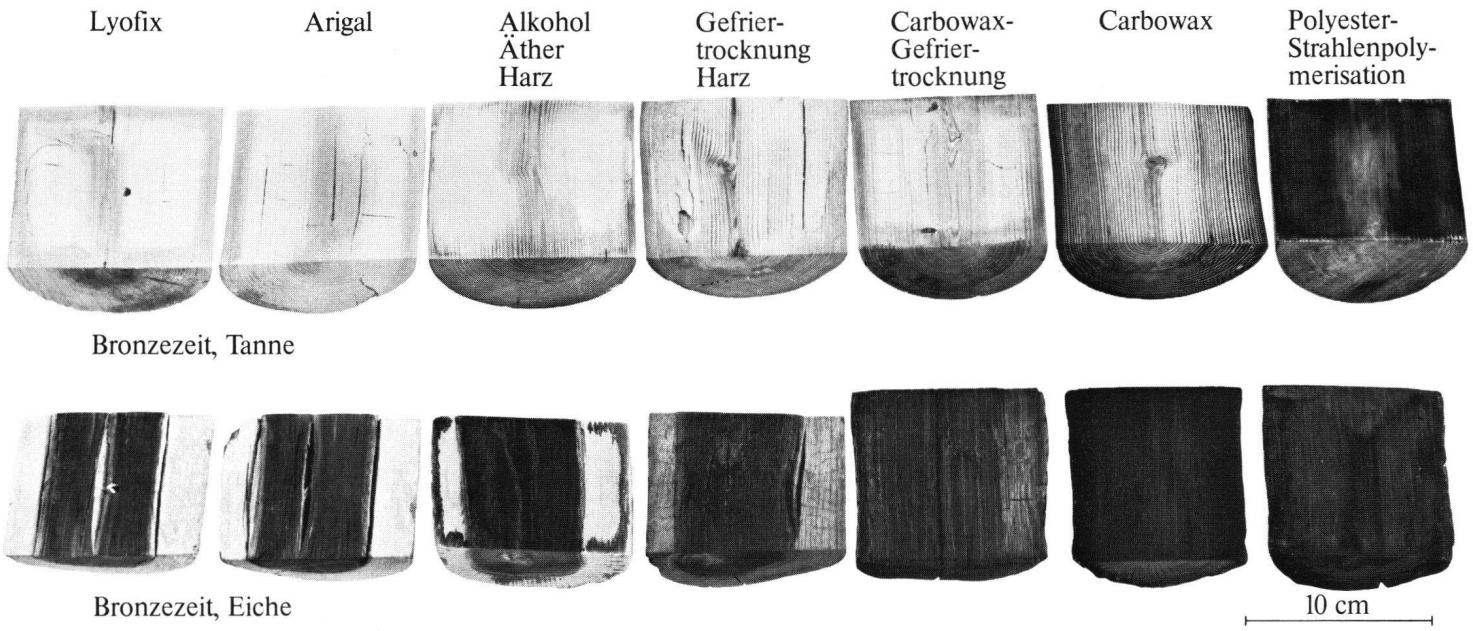


Abb. 8 Längsschnitte durch Holzrugel zeigen die Tiefenwirkung der verschiedenen Methoden in größeren Probenkörpern.

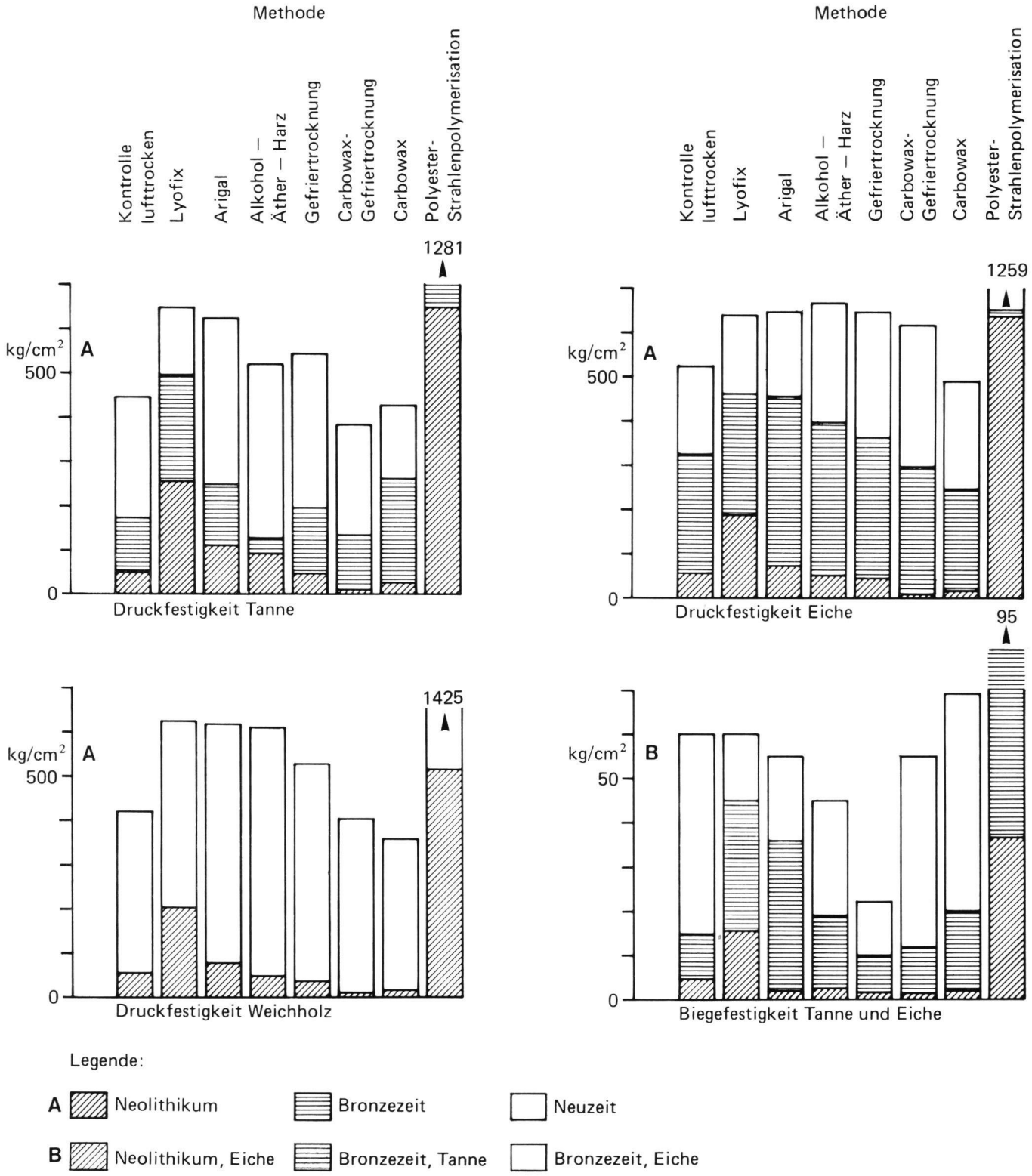
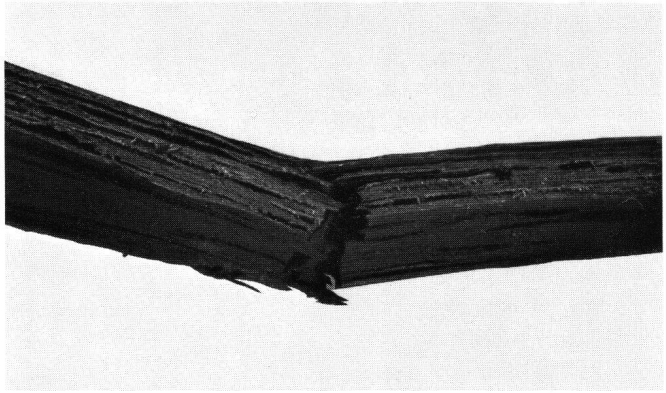


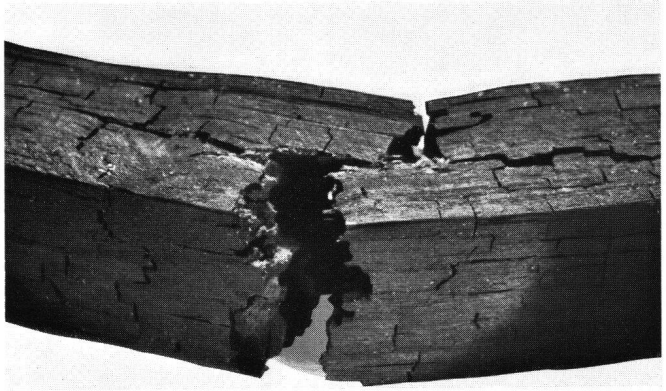
Abb. 9 Die Druck- und Biegefestigkeiten der Proben in Beziehung zu ihrem Alter, zur Holzart und zur angewandten Konservierung. Die hohen Werte bei der Polyester-Strahlenpolymerisation sind mit Zahlen angegeben, die Säulenlängen sind unvollständig. Bei der Druckfestigkeit Tanne gilt der Wert 1281 kg/cm² sowohl für bronzezeitliche als auch für neuzeitliche Proben.

Abb. 10 Die Bruchflächen von verschieden konservierten Stabproben nach dem Biegeversuch (etwa in Originalgröße).

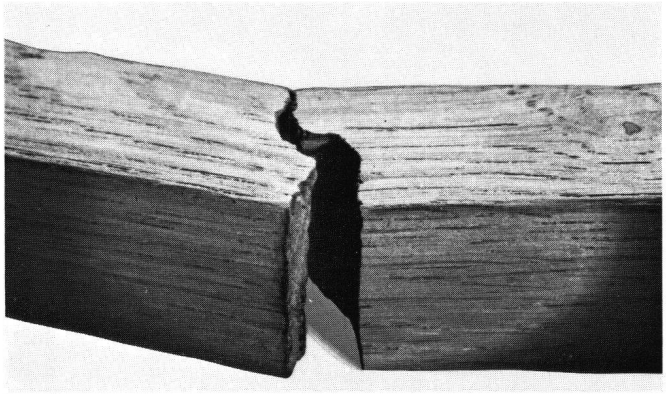
Neolithikum, Eiche (Quercus sp.)



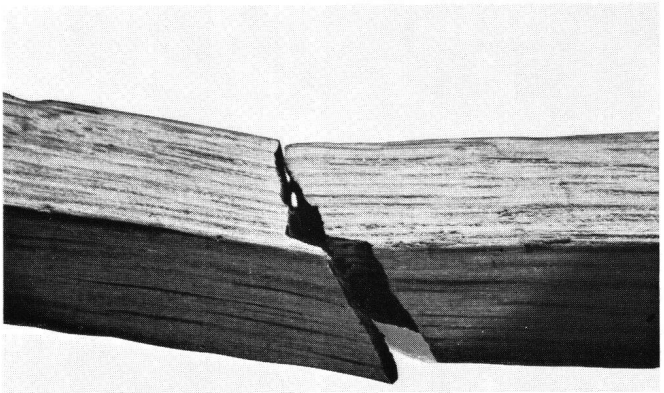
Kontrolle lufttrocken



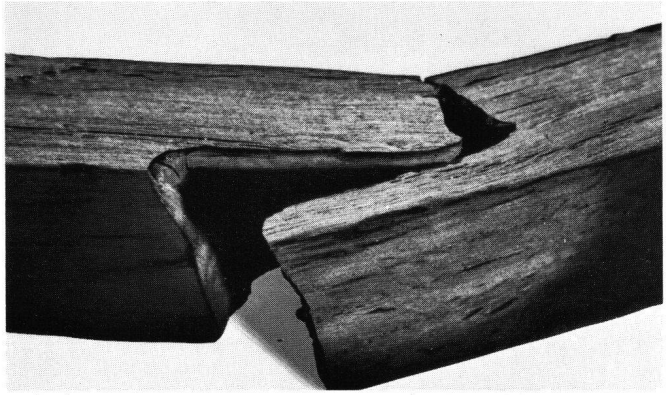
Gefriertrocknung



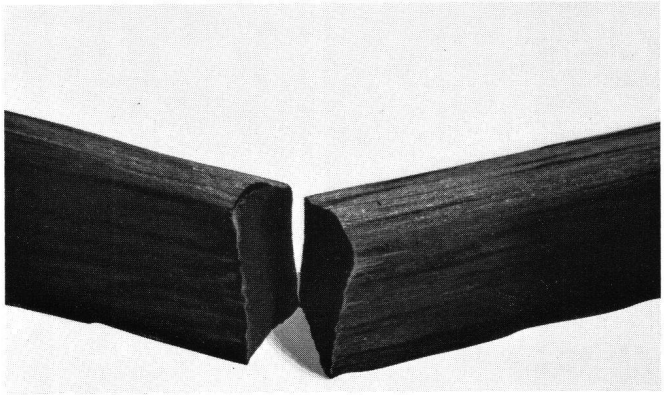
Lyofix



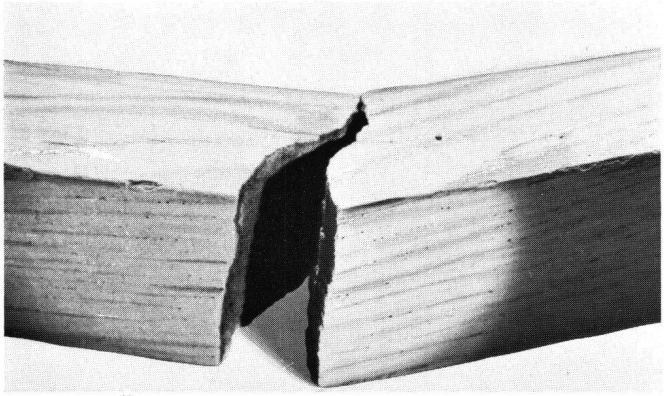
Carbowax-Gefriertrocknung



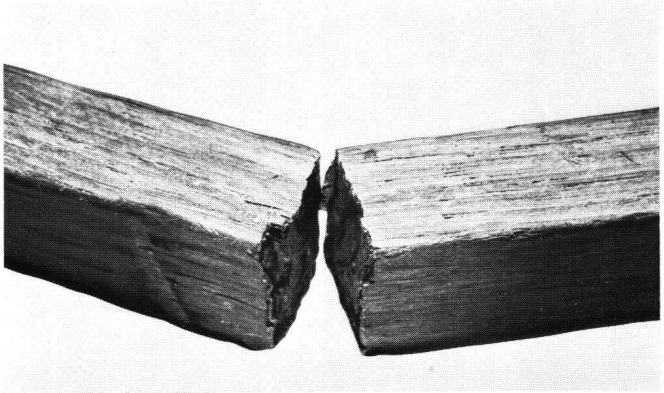
Arigal



Carbowax



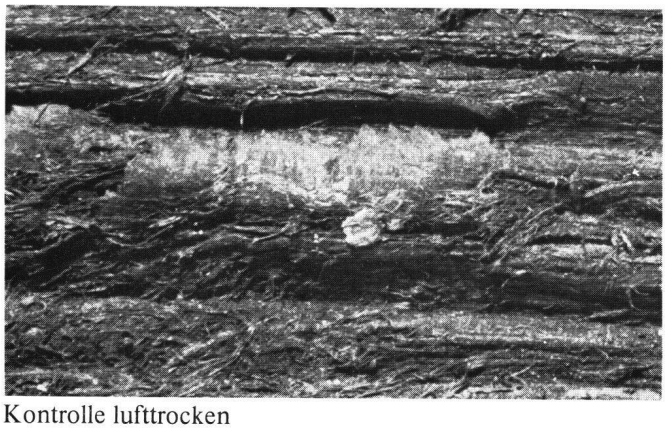
Alkohol - Äther - Harz



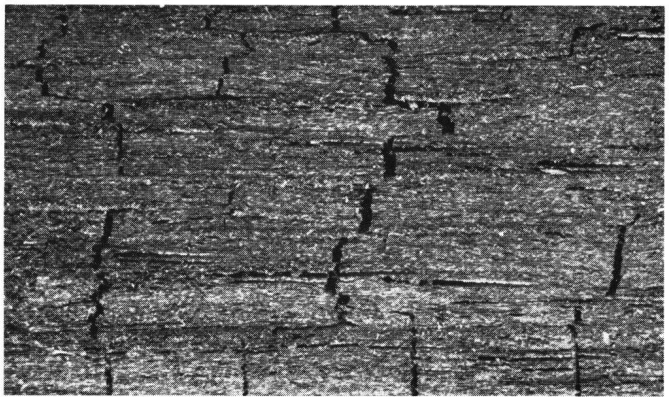
Polyester-Strahlenpolymerisation

Neolithikum, Eiche (Quercus sp.) Radialflächen

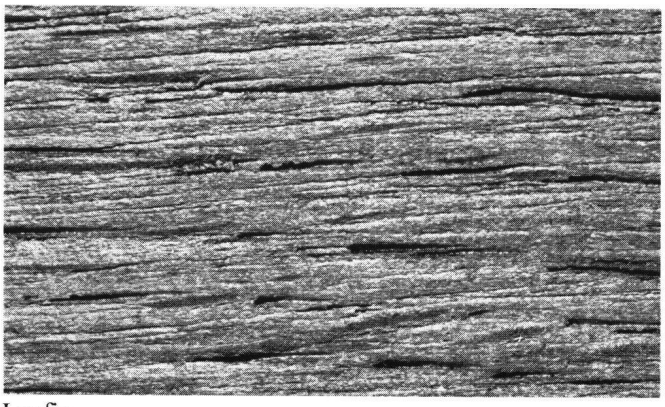
1 cm



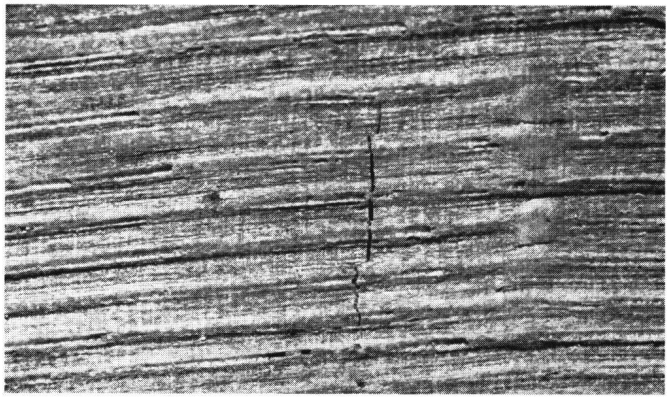
Kontrolle lufttrocken



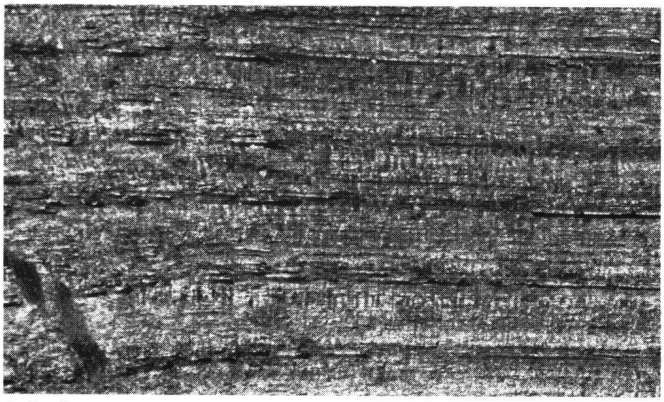
Gefriertrocknung



Lyofix

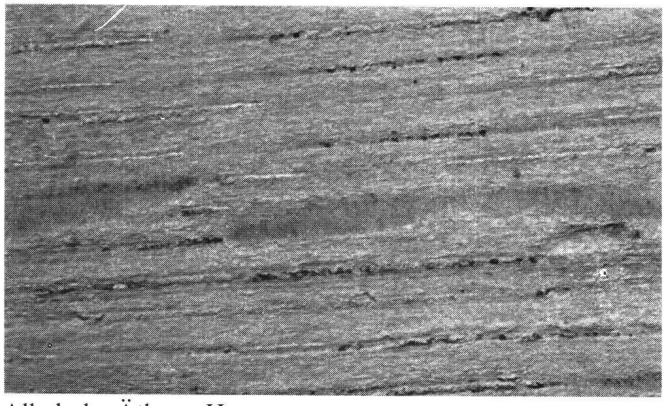


Carbowax-Gefriertrocknung

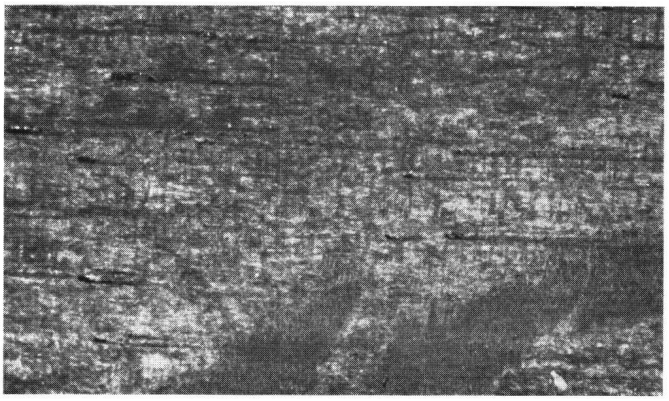


Arigal

Carbowax



Alkohol - Äther - Harz



Polyester-Strahlenpolymerisation

Bei den Druck- und Biegeversuchen fallen unterschiedliche Bruchformen auf (Abb. 10). Einzelne Proben zeigen glatte, einfache Brüche, andere (zum Beispiel gefriergetrocknete) sind komplizierter, splittriger oder faseriger gebrochen. Für die Bewertung vergleiche man Abbildung 18.

Erhaltung der Textur

Wie bereits oben begründet, wurden die Farbaspekte der verschiedenen Methoden nicht bewertet. Wir stellen fest, daß die Carbowax-Konservierung von stark abgebauten Hölzern gegenüber allen andern Methoden sehr dunkle und schlechtere Farbresultate liefert (Abb. 11, 19–24). Eine Bleichung und bessere Einfärbung der Proben ist bei dieser Methode nur mit zusätzlichem Aufwand erreichbar (Desmodur-Behandlung).

Alle Methoden ausser der Polyester-Strahlenpolymerisation benötigen zum Schutz der Oberfläche eine Schluß- oder Nachbehandlung. Gleichzeitig lassen sich damit teilweise Farbkorrekturen anbringen. Besonders störend ist bei der Carbowax-Methode der Oberflächenglanz. Durch die Wasserlöslichkeit des Mittels entsteht meist ein «Schwitzen» der Probe, was für Ausstellungsobjekte unerwünscht ist. Bei der Methode Carbowax-Gefriertrocknung wirkt sich das elastische, gummiartige Oberflächenverhalten (Fingernageltest) als nicht geeignet für die Handhabung der Proben aus.

Gefriergetrocknete Hölzer weisen oberflächlich viele kleine Querrisse auf. Diese entstehen wahrscheinlich durch lokale Spannungen in der Gefrierphase vor der Trocknung. Die Methode ist in dieser Hinsicht zu verbessern. Die Methode Carbowax-Gefriertrocknung ergibt wesentlich bessere Resultate, obwohl auch sie diese Risse nicht immer vermeiden kann (siehe Abb. 11).

Erhaltung der Dimensionen und der Form

Wassergehaltsänderungen im Holzkörper verursachen Quellungs- und Schwindungsprozesse. Da im Holz die Längenänderungen je nach Hauptrichtung und Holzdichte unterschiedlich ausfallen (Anisotropie), entstehen Spannungen im Holzgefüge. Je stärker die Strukturen abgebaut oder je kontrastreicher die Festigungsstrukturen im Gewebe verteilt sind, um so rascher entstehen Risse, da die Spannungen durch das Zellgewebe nicht mehr ausgeglichen werden können.

Dimensions- und Gewichtsmessungen wurden an den Klötzchen, Stäben und Brettern (Formen 1, 2, 3, 5) vorgenommen; die prozentualen Änderungen durch die Konservierung, bezogen auf den Ausgangszustand, sind in den Abbildungen 12–15 dargestellt. Nach F. KOLLMANN[31] wurden für rezente Hölzer folgende mittlere Schwundmaße ermittelt:

Abb. 11 Die Oberflächen (Längsflächen radial) an verschieden konservierten Stabproben.

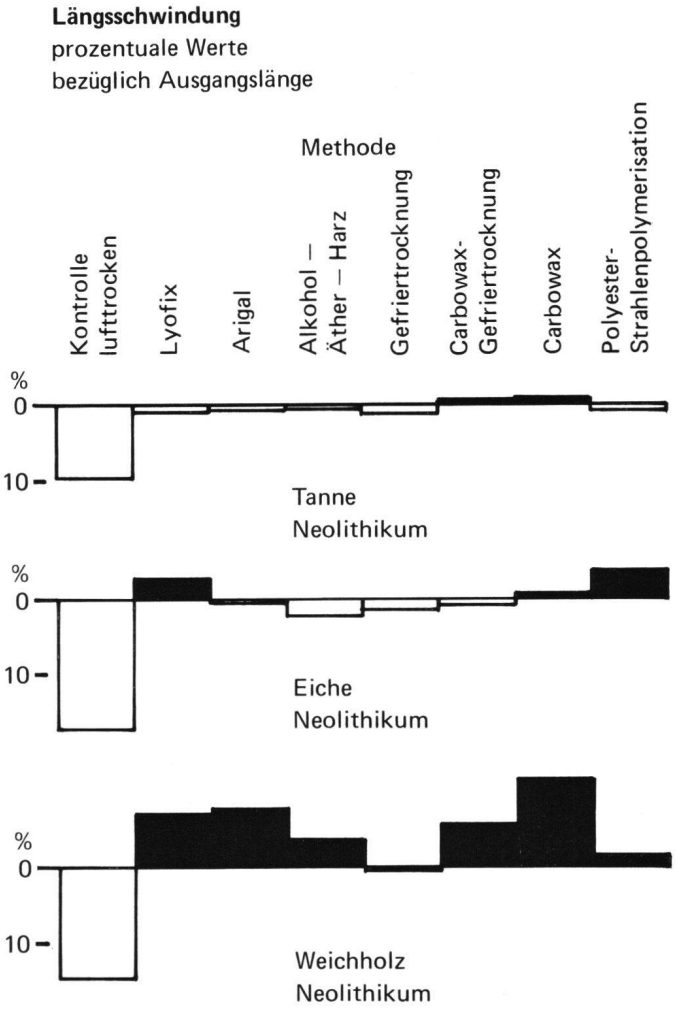


Abb. 12 Die Längsschwindung neolithischer Proben nach verschiedenen Konservierungen. Schwarze Flächen entsprechen Quellungen.

Holzart	*Dichte*	*% Schwindung (waldfrisch bis darr)*			
Tanne	0,45	0,1 längs	3,8 radial	7,6 tang.	11,5 vol.
Eiche	0,69	0,4	4,0	7,8	12,2
Weichholz	0,5	0,5	5,0	8,0	13,0

Die Abbildung 12 weist massive Quellungen in Längsrichtung bei Hölzern der Abbaustufe 3 (Neolithikum) nach, und zwar für Eiche bei der Methode Lyofix und Polyester-Strahlenpolymerisation, für Weichhölzer bei den Methoden Lyofix, Arigal, Alkohol-Äther-Harz, Carbowax-Gefriertrocknung und Carbowax. Für weniger starke Abbaugrade werden nur unbedeutende Quellungs- und Schwindungsdifferenzen in Längsrichtung festgestellt,

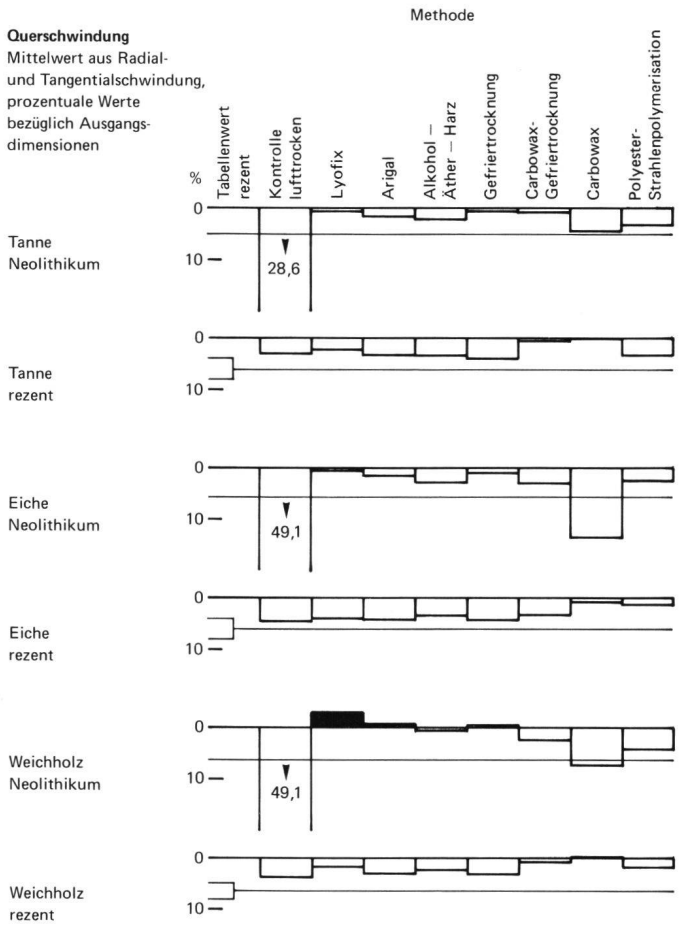


Abb. 13 Die Querschwindungen neolithischer und rezenter Proben nach verschiedenen Konservierungen.

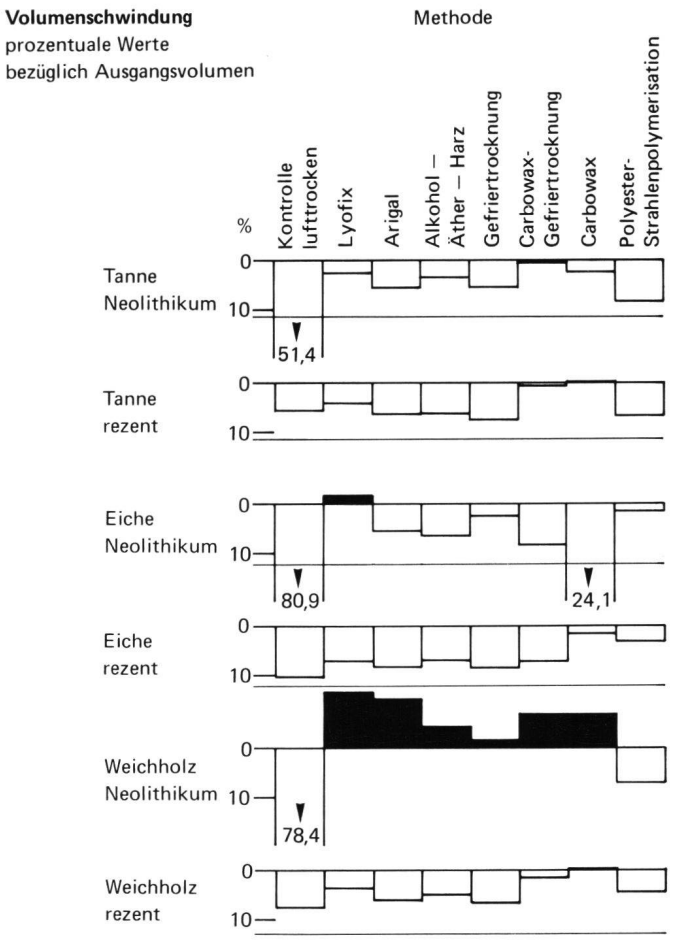


Abb. 14 Die Volumenschwindungen neolithischer und rezenter Proben nach verschiedenen Konservierungen.

die Werte entsprechen denjenigen von rezentem Holz. Quellungen in Längsrichtung sind teilweise meßtechnisch bedingt: Die Meßpunkte lassen sich im nassen Ausgangszustand eher zusammendrücken als im konservierten Endzustand; die Zellen der Stirnholzflächen strecken sich, dehnen sich aus und verfestigen sich durch die Konservierung. Aus technischen Gründen konnten radiale und tangentiale Schwindung nicht getrennt gemessen werden, sie wurden als gemittelte Querschwindungen dargestellt. Ihre Werte übersteigen in keiner Abbaustufe diejenigen von rezentem Holz[32]. Eine Ausnahme bildet die Methode Carbowax; die Ursachen liegen in der unvollständigen Konservierung. Erwähnenswert ist die Quellung stark abgebauter Weichhölzer durch die Methode Lyofix.

Die bei der Querschwindung ermittelten Ergebnisse gelten analog auch für die Volumenschwindung. Volumenvergrößerungen treten aufgrund der Längenquellungen bei Weichhölzern des Abbaugrades 3 bei allen Methoden außer bei Polyester-Strahlenpolymerisation auf. In allen andern Fällen liegt die Volumenschwindung unter den Werten von rezentem Holz (Ausnahme Carbowax).

Die Werte in den Abbildungen 12–14 erlauben dem Restaurator, die Veränderungen ähnlich abgebauter Holzobjekte abzuschätzen. Bei den Gewichtsveränderungen sind die Methoden Carbowax und Polyester-Strahlenpolymerisation zu erwähnen: Infolge der hohen Dichte der Konservierungsmittel bleiben die Objekte schwer, die Gewichte der konservierten Proben übersteigen teilweise diejenigen des Naßzustandes (Abb. 15).

Die Formstabilität ist jedoch für den Erhaltungsaspekt wichtiger als die Dimensionsstabilität. Änderungen in Winkeln und ebenen Flächen sollen klein bleiben, Risse möglichst wenige oder keine auftreten. Da sowohl Winkel- und Flächenverzug als auch Risse nur mit großem meßtechnischem Aufwand erfaßbar sind, wurden diese Kriterien mit einer optischen Taxierung (gutachtliche Bewertung) erfaßt.

Taxierungen an den Proben

Die Kriterien der Formstabilität und der Rißbildung wurden durch die beteiligten Konservatoren an den

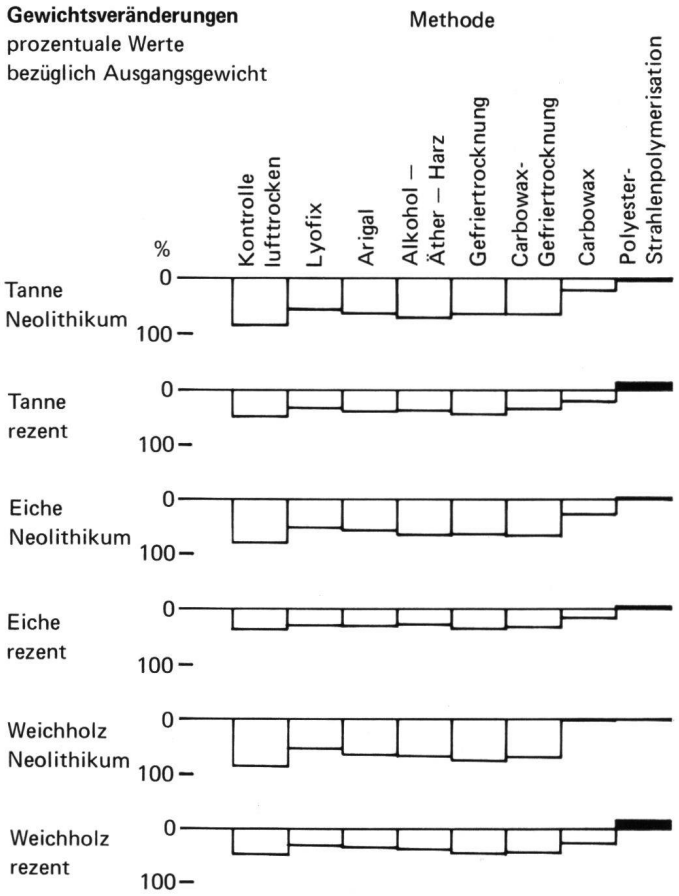


Abb. 15 Die Gewichtsveränderungen neolithischer und rezenter Proben durch verschiedene Konservierungen.

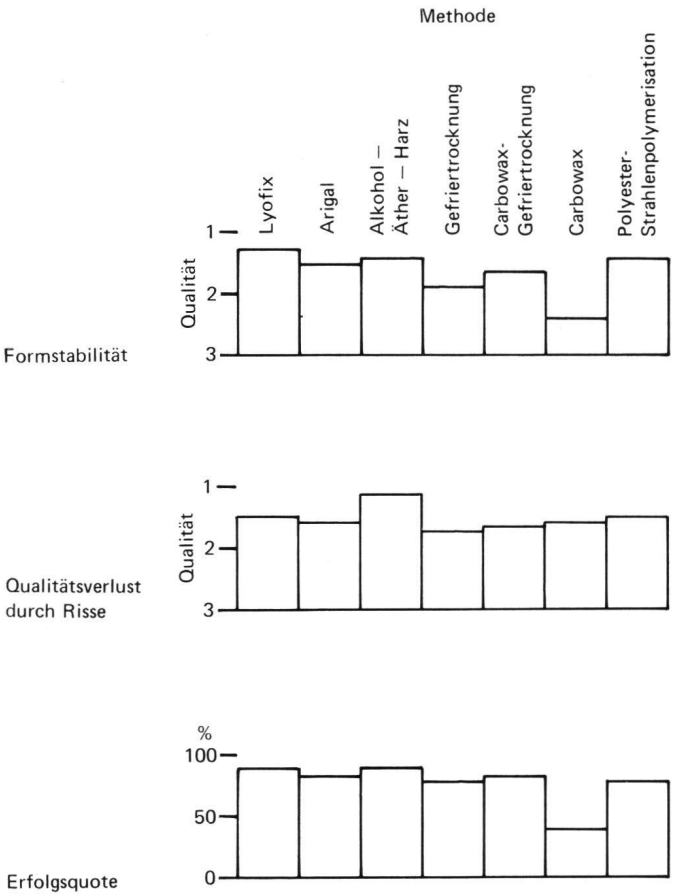


Abb. 17 Die Taxierungsergebnisse der Formstabilität, des Qualitätsverlustes durch Risse und der Erfolgsquote, Mittelwerte von 4 Beurteilern.

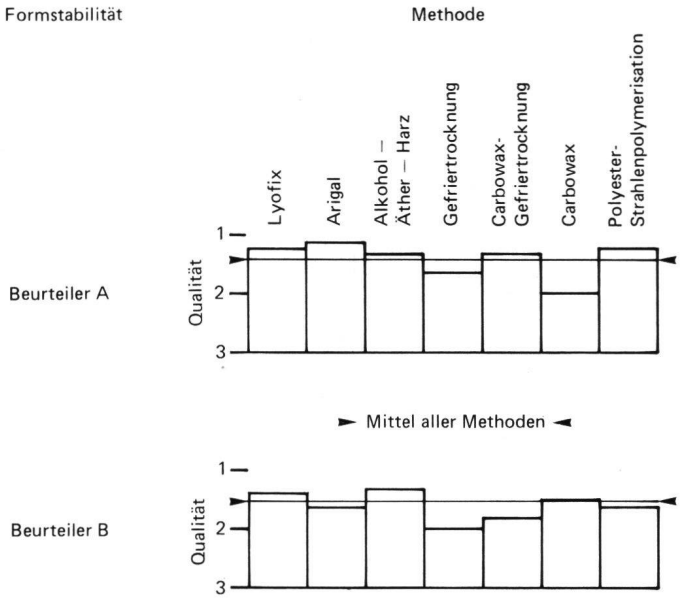


Abb. 16 Die Taxierungsergebnisse der Formstabilität von 2 Beurteilern A und B.

Längs-, den Querbrettern und dem Holzrugel (Formen 3, 4, 5) taxiert. Jeweils sieben gleichartige Probekörper eines bestimmten Abbaugrades sollten mit der relativen Bewertungsskala 1 (überdurchschnittlich) bis 3 (unterdurchschnittlich) eingestuft werden. Die Taxierungsergebnisse weisen je nach Beurteiler eine große Variabilität auf (Abb. 16). Einesteils wurden die Möglichkeiten der relativen Skala nicht voll ausgeschöpft, andernteils spielen trotz klar umrissener Kriterien große, aus der subjektiven Beurteilung stammende Unterschiede eine Rolle. Auch gemittelte Bewertungen aller Beteiligten bieten noch keine Gewähr für stichhaltige Beurteilung in allen Fällen; eine Verbesserung der Taxierung wird nur erreicht, wenn noch mehr als 20 Taxatoren zu noch mehr Proben Stellung nehmen und die Bewertungen gemittelt werden.

Die Zusammenfassungen der Bewertungen über alle Abbaugrade und Holzarten sind in Abbildung 17 dargestellt. Alle Methoden ausser der unvollständig abgeschlossenen Carbowax-Konservierung zeigen eine gute Formstabilität. Weiche neolithische Längsbretter neigen bei den Methoden Alkohol-Äther-Harz, Gefriertrocknung

Abb. 18 Zusammenfassende Ergebnisse aller Beobachtungen und Taxierungen an den Probenhölzern. Qualitätsmerkmale und Eigenschaften der Hölzer bei den am Versuch beteiligten Konservierungsmethoden.

	gültig für Abbaustufe	Methode: Lyofix	Arigal	Alkohol – Äther – Harz	Gefriertrocknung	Carbowax-Gefriertrocknung	Carbowax	Polyester-Strahlenpolymerisation	Dokumentation siehe Abbildungen	Bewertungsskala
Struktureigenschaften mikroskopische Bestimmbarkeit	3, 2, 1	1 ✪	1 ✪	●	2 ✪	●	✪	3 ●	7	A
Eindringtiefe der Konservierung	2	○	○	●	○	○	✪	●	8	A
reparaturgünstige Bruchform	3	●	●	●	○	●	●	●	10	A
Festigkeitseigenschaften Druckfestigkeit	3, 2	●	✪	✪	✪	○/✪	○/✪	●	9	A/B
Biegefestigkeit	3, 2	●	○/✪	○/✪	○	○/✪	○/✪	●	9	A/B
Formeigenschaften Formstabilität	3, 2	●	●	●	✪	✪	○	●	17, 19–24	A/B
Querrisse	3, 2	●	●	●	○	✪	●	●	11	A
Radial- und Schälrisse	3, 2	✪	✪	●	✪	✪	✪	✪	17, 19–24	A
Dimensionseigenschaften Volumenschwindung	3	✪	✪	✪	●	●	○	✪	14	B
Gewicht	3, 2	✪	✪	○	○	○	●	●	15	B

Legende:

	Skala A	/ B
●	gut	/ hoch
✪	befriedigend	/ mittel
○	ungünstig, ungeeignet	/ tief

und Polyester-Strahlenpolymerisation zu Verwerfungen in den Flächen; exakte Vergleiche bieten jedoch nur Proben mit gleichen Anteilen von Rift- und Fladerschnitt, was am vorliegenden Material nicht realisiert werden konnte.

Wesentliche Schwächen der Methoden treten bei der Taxierung der Risse zutage: Mit keiner einzigen Methode waren Radialrisse zu vermeiden. Für starke Abbaugrade konnten oft bessere Resultate erreicht werden als für mäßige Abbaugrade (Bronzezeit), da letztere starke Dichteunterschiede zwischen Kern und Splint aufweisen (vor allem bei Harthölzern). Am wenigsten Risse bilden sich bei der Methode Alkohol-Äther-Harz und zum Teil bei Carbowax (sehr flexibel, jedoch forminstabil). Gute Resultate weisen auch die Methoden Lyofix (auch Arigal), Polyester-Strahlenpolymerisation und Carbowax-Gefriertrocknung auf. Schälrisse entstanden bei den Methoden Lyofix (Arigal) und Gefriertrocknung; diese Methoden gleichen Spannungen infolge stark unterschiedlicher Holzdichten oder Abbaugrade ungenügend aus.

Wie stark vor allem die Risse und weniger die Formstabilität den Erfolg einer Konservierung beeinflussen, zeigt die Erfolgsquote auf Abbildung 17. Die Taxatoren bestimmten nach eigenen Kriterien den prozentualen Anteil erfolgreich konservierter Proben aus dem Gesamtmaterial der Formen 3, 4, 5 einer Methode. Die Mittelwerte aller Taxatoren belegen, daß die Methode Alkohol-Äther-Harz quantitativ die besten Resultate ergibt. Ihr folgen die Methoden Lyofix (Arigal), Carbowax-Gefriertrocknung, Polyester-Strahlenpolymerisation und Gefriertrocknung.

Zusammengefasste Bewertungen

Zu Beginn des Versuches setzten wir hohe Erwartungen in eine Aufwand/Ertrags-Berechnung zwischen den Metho-

den; sie erfüllten sich nicht. Mit Fragen zur Wirtschaftlichkeit einer Methode wenden sich Interessierte am besten direkt an die entsprechenden Laboratorien. Möglichkeiten und Grenzen der einzelnen Methoden bei speziellen Objekten und Holzarten sind aus den Methodenbeschreibungen ersichtlich. Die Ergebnisse des Versuches sind in Abbildung 18 zusammengefaßt und dargestellt. Detaillierte Informationen zu den konservierten Proben können der Photodokumentation der Abbildungen 19–24 entnommen werden.

Ausblick

Mit der Beurteilung und dem Vergleich der konservierten Proben ist eine erste Standortbestimmung abgeschlossen. Einzelne Probleme von Konservierungsmethoden sind

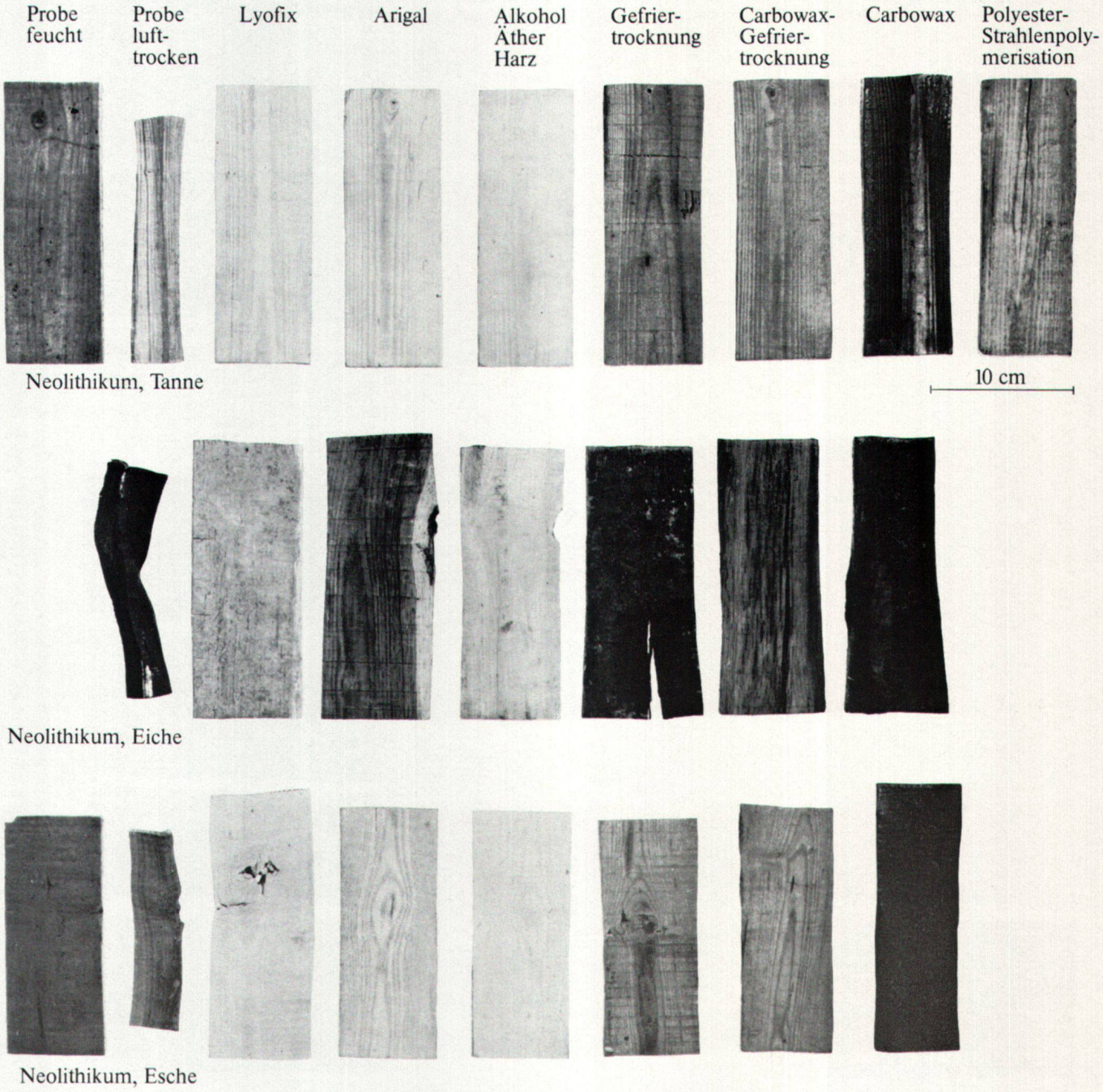


Abb. 19 Die neolithischen bodenfrischen, trockenen und konservierten Längsbretter (Form 3).

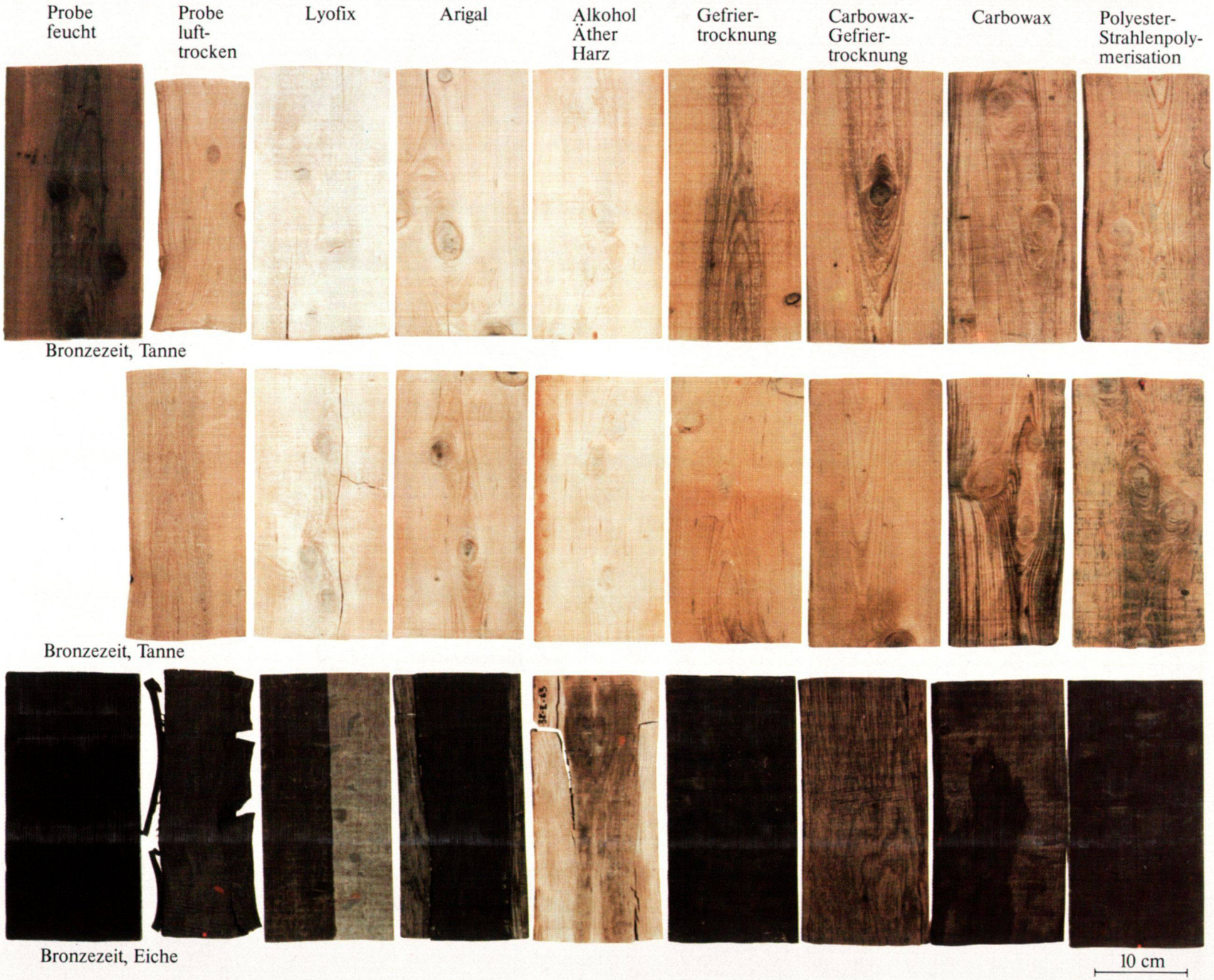


Abb. 20 Die bronzezeitlichen bodenfrischen, trockenen und konservierten Längsbretter (Form 3).

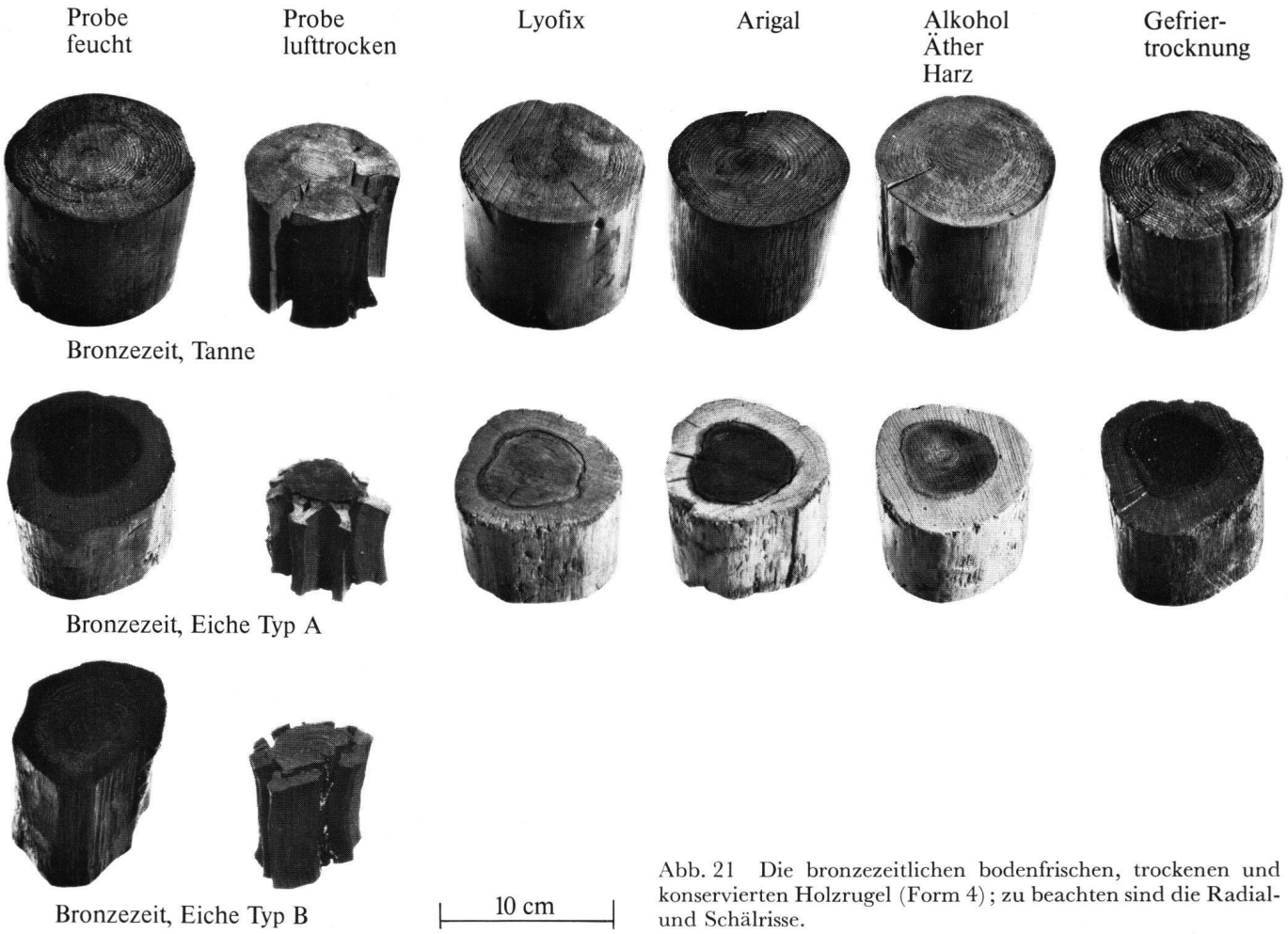
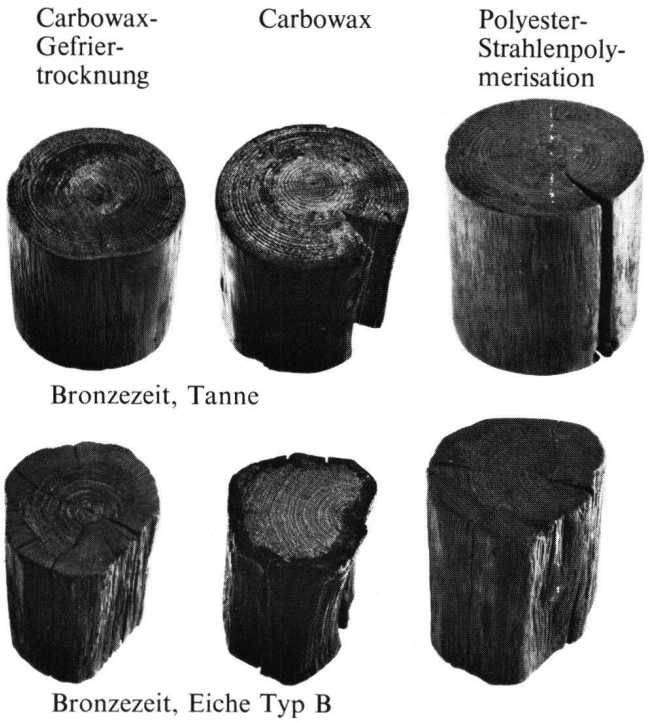


Abb. 21 Die bronzezeitlichen bodenfrischen, trockenen und konservierten Holzrugel (Form 4); zu beachten sind die Radial- und Schälrisse.



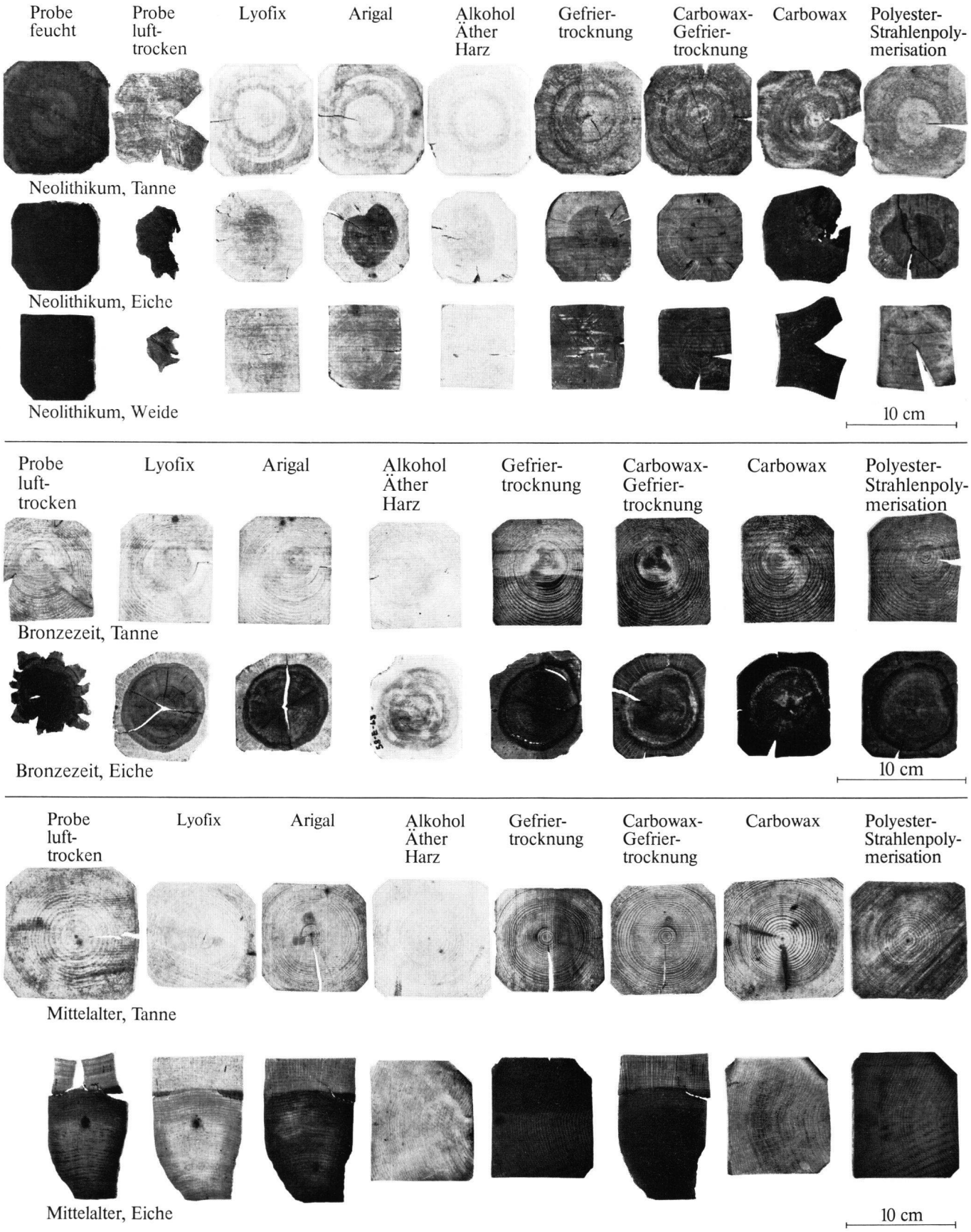
klarer erfaßt. Die Probenkörper werden aber auch bei streng klimatisierten Bedingungen nicht stabil bleiben. In bestimmten Zeitintervallen durchgeführte Vergleiche mit dem Zustand unmittelbar nach der Konservierung, allenfalls ein entsprechend angelegter Lagerungsversuch, werden allein zureichende Auskunft über die Stabilität der Konservierungsmittel und -methoden geben.

Legenden zu den drei Abbildungen Seite 120:

Abb. 22 Die neolithischen bodenfrischen, trockenen und konservierten Querbretter (Form 5); zu beachten sind Risse und Schwindungsverzug.

Abb. 23 Die bronzezeitlichen bodenfrischen, trockenen und konservierten Querbretter (Form 5).

Abb. 24 Die mittelalterlichen bodenfrischen, trockenen und konservierten Querbretter (Form 5).



Abbildungslegenden 22–24 auf Seite 119

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.

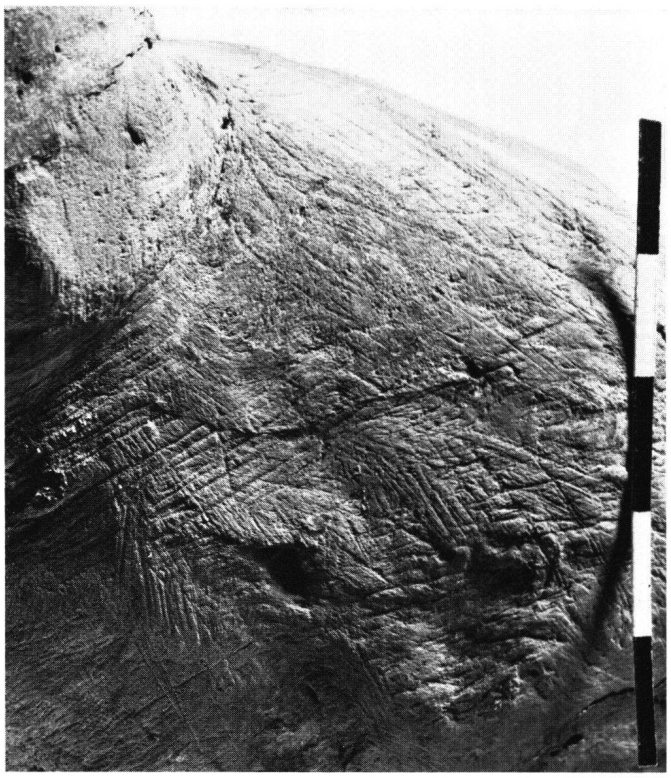


Abb. 26 Detail von Abb. 25. Gut erkennbare Bearbeitungsspuren auch nach der Konservierung.

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.

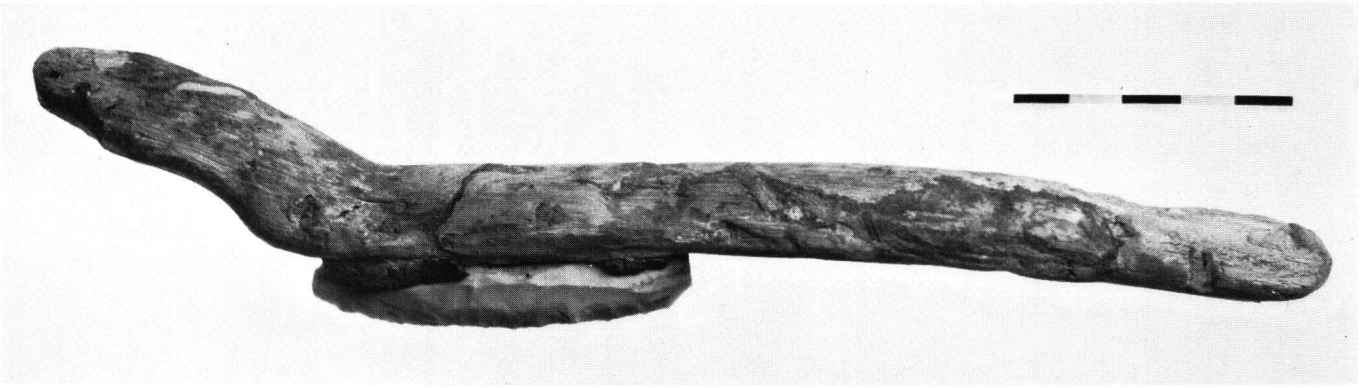


Abb. 27 Seeberg BE, «Burgäschisee-Süd». Grabung 1958. Cortaillodkultur. Langstieliges Messer aus Hasel oder Erle, darin eingekittet mit Birkenteerpech eine Silexklinge. Länge 23,5 cm. Konservierung mit Arigal C, 1960.

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).

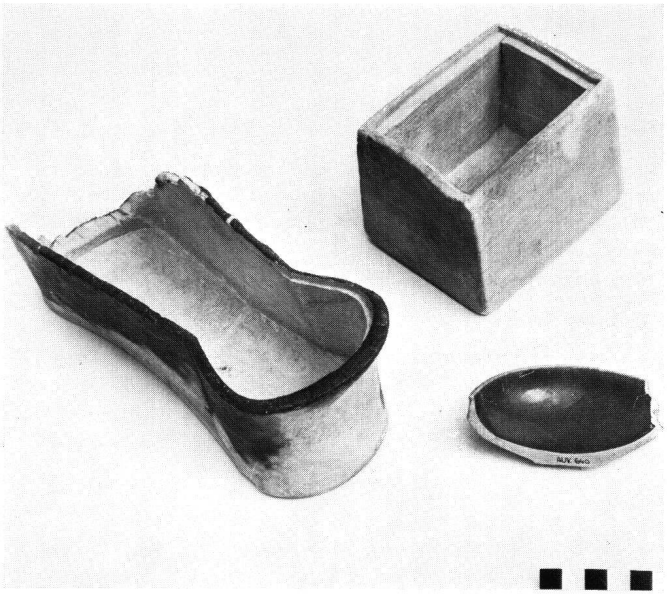


Abb. 28 Auvernier NE. Grabung 1972. Spätbronzezeit. Zwei Schachteln und eine Schale aus Ahorn, das linke Objekt ist angekohlt. Konserviert mit Arigal C, 1972.

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.

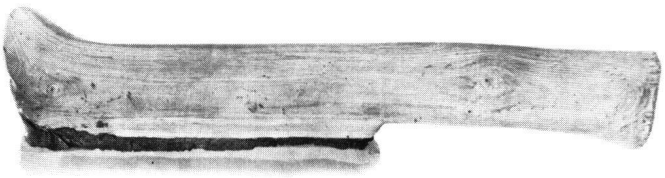


Abb. 29 Auvernier NE, «Port». Grabung 1973. Cortaillodkultur. Sichelmesser, Griff aus Eibe mit eingekitteter Silexklinge. Länge 21 cm. Konserviert mit Arigal C, 1973.

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-

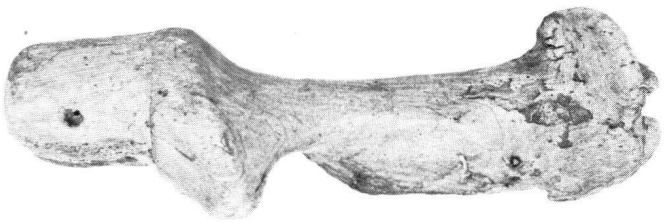


Abb. 30 Auvernier NE. Grabung 1972. Spätbronzezeit. Sichelgriff aus Holz eines Apfelgewächses (Pomoideae). Länge 17,9 cm. Konserviert mit Arigal C, 1973.

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-

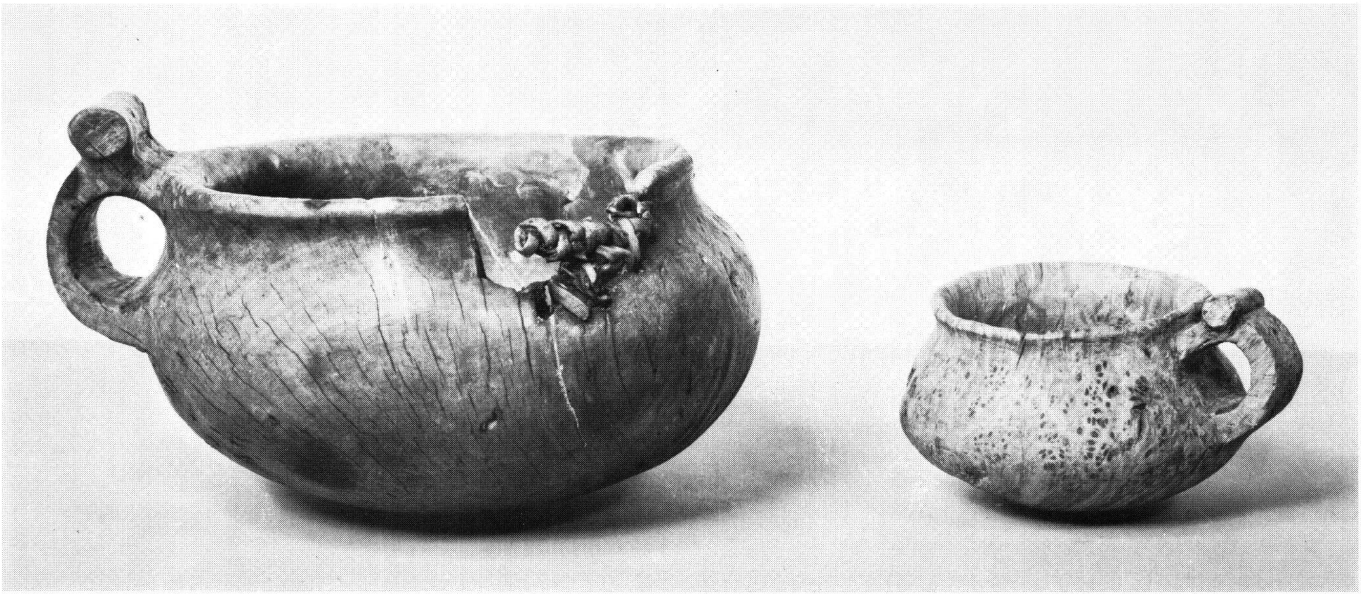


Abb. 31 Fiavè (Provinz Trento, Italien), «Carera». Grabung 1975. Mittelbronzezeit. Henkeltassen, eine davon mit geflochtener, antiker Flickstelle, aus Maserknollen. Durchmesser der größeren Tasse 15,2 cm. Konserviert mit der Alkohol-Äther-Harz-Methode 1975/76.

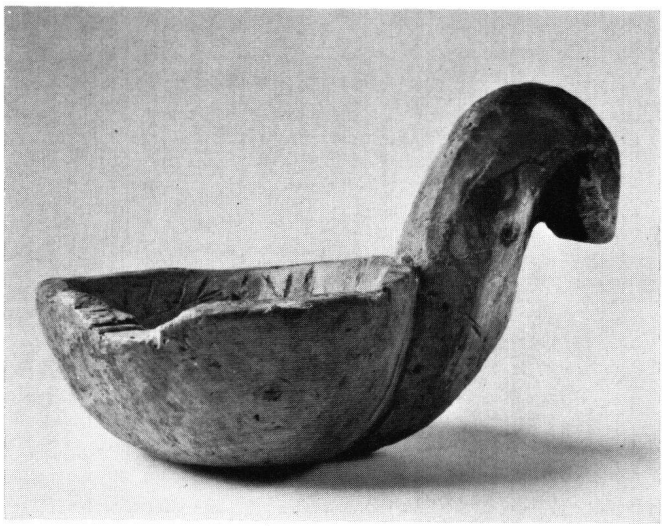


Abb. 32 Meilen ZH, Feldmeilen «Vorderfeld». Grabung 1971. Horgener Kultur. Schöpferrohling kurz vor seiner Vollendung, aus einem Ahornmaserknollen gefertigt. Maßstab 1:2. Konserviert mit der Alkohol-Äther-Harz-Methode, 1974.

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

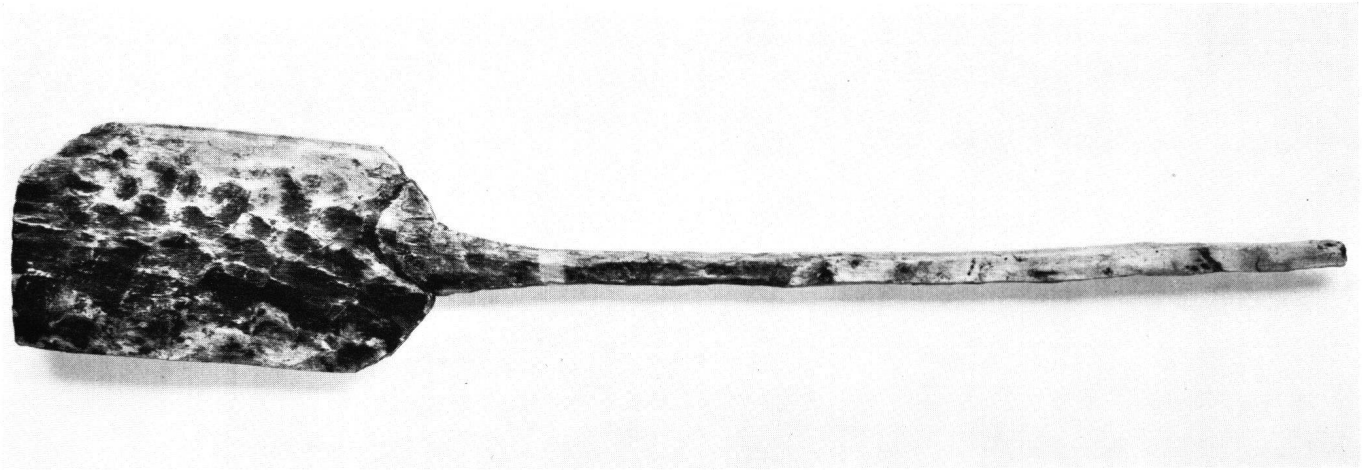


Abb. 33 Meilen ZH, Feldmeilen «Vorderfeld». Grabung 1971. Horgener Kultur. Schaufel aus Ahorn. Gut sichtbar sind die Hiebspuren der Zubereitung auf dem breiten Blatt. Länge 131 cm. Konserviert mit der Alkohol-Äther-Harz-Methode, 1975.

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.

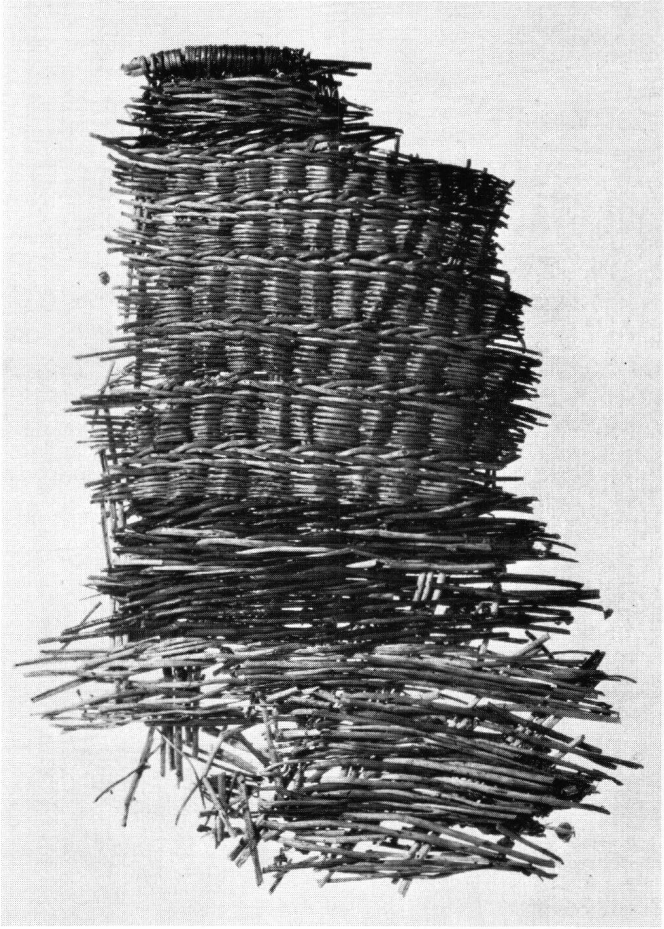


Abb. 35 Auvernier NE. Spätbronzezeit. Korbfragment mit verschiedenen Flechtmustern und zweifarbigen Ruten. Höhe 24,5 m. Gefriertrocknung mit nachträglicher Epoxydharztränkung.

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.

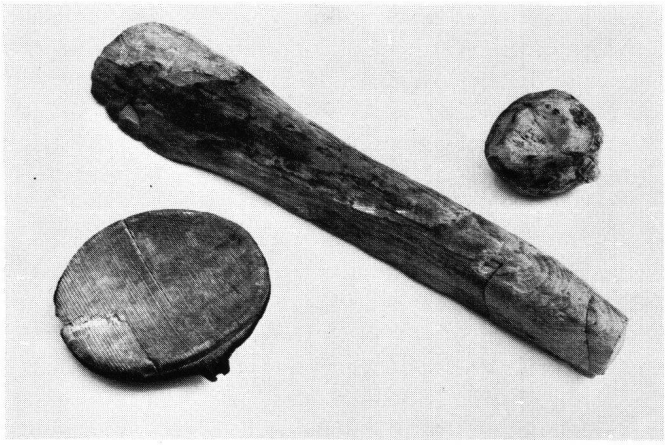
8. Nach mindestens 24 Stunden kann der Trocknungsprozeß weitergeführt werden.
9. Nach 2 Tagen wird der Trocknungsprozeß ein letztes Mal wie bei Punkt 7 unterbrochen. Anschließend wird die Gefriertrocknung bis zur Vollständigkeit durchgeführt.

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.

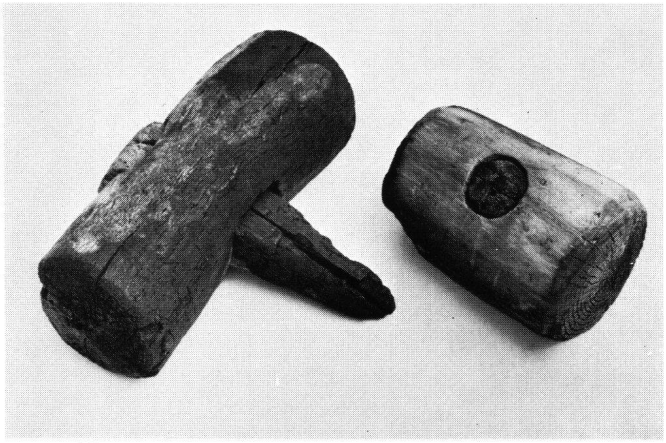
Schlußbehandlung

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.

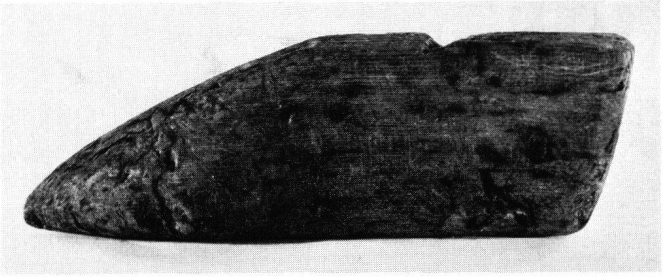


Abb. 37 Charavines (Département Isère, Frankreich), «Station des Colletières». Grabung 1975. 11.Jh.n.Chr. Schuhleisten. Styren-Strahlenpolymerisation 1976. Länge 25 cm.

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

gemacht, denen sich eventuell andere unterzuordnen haben. Die Objekte müssen sorgfältig gehandhabt werden können, ohne Schaden zu nehmen oder gar zu zerbrechen. Optisch sollten sie möglichst den Aspekt des ursprünglichen Gerätes erhalten. Eventuelle bei der Bergung entstandene Schäden sollten auf kosmetischem Weg behoben werden. Unter Kosmetik wird hier das Ersetzen fehlender oder die Reparatur beschädigter Partien verstanden, auch ein Finish, mit dem der ursprüngliche Holzcharakter wieder hergestellt wird. Über diesen Kriterien steht aber das Alterungsverhalten, das im vorangehend beschriebenen Methodenvergleich nicht berücksichtigt werden konnte und sich erst nach einer Langzeiterfahrung beurteilen läßt. Zum Alterungsproblem kommt die Verträglichkeit von Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen sowie die Lichtempfindlichkeit. Unsere Probenserie ist bisher im Klimaschrank unter gleichbleibenden Bedingungen aufbewahrt und nur zu Demonstrationszwecken und zur kritischen Begutachtung herausgenommen worden. Aussagen zum wichtigen Fragenkomplex der Alterung und Lagerung können also keine gemacht werden.

Die Hoffnung, mit dieser Versuchsreihe die Anwendungsbereiche der einzelnen Methoden zu erkennen, um daraus einerseits Empfehlungen zur Konservierung bestimmter Objektgattungen abzuleiten und andererseits die Entwicklung der geeigneten Methoden zu forcieren, hat sich vorläufig nicht erfüllt. Die Herausgabe von verbindlichen Konservierungsrichtlinien wäre im jetzigen Zeitpunkt verfrüht, auch wenn sich ein Trend zur einen oder anderen Methode bereits abzeichnet.

Als zeitlicher Ausgangspunkt für die folgenden Überlegungen gilt der 14.April 1978, der Tag, an dem im Labor für fossiles Holz an der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) alle Proben zur Begutachtung ausgelegt waren.

In allen Form- und Altersbereichen der Hölzer fällt allgemein auf, daß die nicht zu Ende geführte Behandlung mit Carbowax (Polyäthylenglykol) unbefriedigende Resultate zeitigte. Einzig das mittelalterliche Querbrettchen (Abb. 24) erweckt einen guten Eindruck und hat sogar das beste Resultat seiner Serie erbracht. Für prähistorische Hölzer ist die Carbowax-Methode ungeeignet. Die Imprägnationsphase dauert bei einer wirklichen Behandlung äußerst lange, und wenn man den Entwässerungsprozeß durch Austrocknen einleitet, so besteht nach wie vor die Gefahr von Schwundeffekten in Form weit klaffender Risse. Dazu kommen sekundäre Wachsausscheidungen, die je nach Lufttemperatur und -feuchtigkeit unterschiedlich stark und lang dauern, was bei einer Ausstellung des Objektes Gegenmaßnahmen erfordert, die ästhetisch störend wirken. Die Carbowax-Methode ist nur bedingt anwendbar, etwa um eine kurze Zeitspanne bis zur Konservierung mit einer anderen Methode zu überbrücken. Die Wachse können teilweise wieder herausgelöst werden. Dagegen kann eine allenfalls aufgetretene Deformation des Objektes durch keine andere Methode mehr behoben werden.

Bei den mittels Strahlenpolymerisation gefestigten Hölzern ist der Farbaspekt, gleich wie bei Carbowax, zu dunkel. Eine nachträgliche Bleichung ist aber durchführbar. Der Strahlenpolymerisation scheint aber noch eine besondere Eigenheit anzuhaften: Vormals scharfe Kanten sind nach der Behandlung durchweg leicht abgerundet[54].

Zur Behandlung von Längsbrettchen (radial geschnittenen oder gespaltenen Hölzern) aus dem Neolithikum und der Bronzezeit scheinen sich Arigal C und sein Ersatzpräparat Lyofix DM (heute durch Lyofix DML verbessert) sowie die Alkohol-Äther-Harz-Methode am besten zu eignen. Letztere Methode hat allerdings in bezug auf die flächige Dimensionstreue weniger günstige Resultate erbracht. Beide Gefriertrocknungsmethoden haben Rißbildungen im Gefolge. Unter allen Versuchsserien erwiesen sich die Eichenhölzer als besonders aufschlußreich. Die Reaktionen zwischen den inneren Stammpartien des – durch seine höhere Festigkeit sowie einer damit gekoppelten größeren Dauerhaftigkeit gekennzeichneten – Kernholzes und dem äußeren Splintholz sind oft ähnlich. Es kommt sehr häufig vor, daß Querrisse im Splint und Längsrisse an der Grenze zwischen Splint und Kern (Abb. 20; 2., 3., 4. Methode) entstehen. Im Kern selbst wurde am Stichtag nur einmal ein längsaxialer Sprung festgestellt (Abb. 19; 2. Methode). In der Praxis wird es viele Spaltbretter und aus solchen gefertigte Objekte zu konservieren geben; deren Dicke dürfte aber oft größer als bei unseren Proben sein.

Für quer geschnittene Bretter eignen sich anhand des Methodenvergleichs Lyofix DM und die Alkohol-Äther-Harz-Methode. Bei den bronzezeitlichen Eichenscheiben zeigte einzig das mit Alkohol-Äther-Harz präparierte Brett (Abb 23; 3. Methode) keine Risse; alle anderen Methoden bewirkten große Radialrisse. Die Gefriertrocknung mit nachträglicher Harztränkung ergab geschüsselte Brettchen. Die Ursache dieser Deformation scheint bei der Sublimationsphase und der Lage im Vakuumschrank zu liegen, was auch die flachen nach der Carbowax/Gefriertrocknungsmethode konservierten Brettchen bestätigen. Solche Details zeigen, daß gewisse negative Erscheinungen, wie sie im hier vorliegenden Versuch vorkommen, durch die unterdessen gewonnene Erfahrung zum Teil eliminiert werden können. Es kann sich aber auch um kleine Behandlungsunterschiede durch die ausführende Person handeln.

Für die Versuche mit Stammsegmenten («Rugel») wurden leider nur Beispiele von bronzezeitlichen Tannen und Eichen geliefert. In der Praxis wird der größte Teil des anfallenden «Normalholzes» dieser Kategorie morphologisch ähnlich sein. Dabei ist vor allem an die vielen Bauhölzer zu denken, die wie die Pfosten Bearbeitungsspuren aufweisen, aber auch an die (zwar aus Spältlingen

gefertigten) Schäfte. Betrachtet man vorerst die «äusserlichen» Resultate, so fallen sie für die Eiche bei der Alkohol-Äther-Harz-Methode am besten aus, gefolgt von Lyofix und Arigal C.

In Frage kommt auch die Strahlenpolymerisation, wenn Radialrisse in der Längsachse in Kauf genommen werden. Beide Gefriertrocknungsmethoden zeigen feine Querrisse im Splint. Da die Proben auch längsaxial hälftig durchsägt worden sind, läßt sich zudem über das «Innenleben» berichten. Dies scheint wichtig, denn eine Inhomogenität verursacht zwangsläufig Spannungen, die mit der Zeit zu einer Reaktion führen können. Dies trifft vor allem bei den mit Lyofix DM und Arigal C behandelten Eichen zu, wo eine partielle Ablösung des Kerns vom Splint nicht zu verhindern war. Bei der Gefriertrocknung entstehen Radialrisse vor allem im Kern, bei der Strahlenpolymerisation vor allem im Splint. Von solchen unliebsamen Effekten verschont blieb die Probe der Alkohol-Äther-Harz-Methode.

Das bronzezeitliche Tannenholzsegment hat sich etwas anders verhalten. Die Oberflächen der mit Lyofix DM und Arigal C behandelten Proben sind weitgehend einwandfrei. Die Arigalprobe besitzt aber einen Asteinwuchs, der deutlich zeigt, daß dort in bezug auf Spannungsrisse für eine langfristige Konservierung wahrscheinlich eine prekäre Situation entstehen könnte. Auch die Gefriertrocknung nach Carbowaxtränkung ist akzeptabel. Die entsprechende Probe weist aber einen mittelgroßen Radialriß auf. Die Alkohol-Äther-Harz-Probe zeigt dagegen einen ausgeprägten Radialriß. Mehrere solche befinden sich auf dem nur gefriergetrockneten Stück, das überdies auch die kleinen Querrisse aufweist. Das strahlenpolymerisierte Holzstück ist mit einem großen Radialriß versehen. Bei den durchgesägten Proben sieht man beim Lyofixmuster im Innern ausgeprägte Risse und eine Abkapselung der Imprägnation. Das gleiche Resultat zeigt sich beim Arigal C, nur die Imprägnationsabkapselung ist dort etwas geringer.

Von außen gesehen und mit dem Wissen um die innere Struktur der Stammsegmente muß für die Eichenproben der Alkohol-Äther-Harz-Methode der Vorzug gegeben werden, denn die Hohlräume im Lyofix wie im Arigal C sind wohl bei größeren Volumen noch ausgeprägter als bei unseren Proben, die einen Durchmesser von unter 10 cm haben. Bei Objekten, deren Durchmesser 3–4 cm beträgt, dürfte aber die Eindringtiefe von Lyofix DM und Arigal C das Zentrum erreichen.

Wie man sieht, gibt es einzelne Empfehlungskriterien zur Konservierung bestimmter Hölzer in gewissen Situationen. Sie sind jedoch nur für die am Stichtag vorgefundene Situation aussagekräftig. In der Praxis wäre unbedingt ein Langzeitversuch nötig, der zeigen müßte, welche Methode sich auch über einige Jahre hinaus bewährt. Vielleicht wäre gegebenenfalls einem Verfahren, das den Nachteil von wenigen Rissen aufweist, der Vorzug zu geben, denn auf kosmetischem Weg sind Risse meist leicht zu reparieren.

Generell eignen sich offenbar für alle Methoden Hölzer von geringem Volumen besser. Spitzenstücke sollten nach jenen Methoden konserviert werden, die man bereits aus langjähriger Erfahrung kennt. Weniger wichtige Bauhölzer, solche die etwa zur musealen Rekonstruktion eines Bauteiles gebraucht werden, könnte man allenfalls mittels der Strahlenpolymerisation konservieren, wenn nicht wegen des zu großen Gewichtes davon abgesehen werden muß. Die Möglichkeiten der Gefriertrocknung sind noch nicht ausgeschöpft; auch die Alkohol-Äther-Harz-Methode erscheint noch ausbaufähig. Daß der optische Aspekt bei Lyofix nicht ganz befriedigt, mag mehr subjektiv begründet sein; kosmetisch wäre auch hier Abhilfe zu schaffen. Die Strahlenpolymerisation ist noch nicht fertig entwickelt.

Der weitere Fortschritt in der Naßholzkonservierung hängt zum Teil von der besseren Erforschung der Holzanatomie ab, wozu auch die Biochemie neue Unterlagen liefern müßte.

ANMERKUNGEN

[1] R. Wyss, *Rekonservierung und Herstellung einer Kopie der keltischen Monumentalstatue aus Genf*, Jahresbericht des Schweizerischen Landesmuseums 83, 1974, S. 73–74.

[2] P. Vouga, *La Tène*, Leipzig 1923.

[3] R. Perini, *La palafitta di Fiavè-Carera*, Preistoria Alpina 11, 1975, S. 25–64. – R. Perini, *L'abitato palafitticolo di Fiavè nel periodo del Bronzo medio III*, Studi Trentini di Scienze Storiche 55, 1976, S. 13–41. – R. Perini, *Die Pfahlbauten im Torfmoor von Fiavè*, Mitteilungsblatt der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte 8, 1976, S. 2–12. – R. Perini, *I legni preistorici*, in: Restauri ed acquisizioni 1973–1978, (Ausstellungskatalog Juni–November 1978), Castello del Buonconsiglio – Palazzo delle Albere, Trento 1978, S. 21–25.

[4] Mit Pinsel aufgetragene Araldit-Tränkung: Typ DY 022 mit 32% HY 2996.

[5] Teilgenommen haben: Dir. Dr. H. Schneider, Dr. R. Wyss, Dr. B. Mühlethaler, Dr. J. Bill, W. Kramer und J.Th. Elmer vom Schweizerischen Landesmuseum in Zürich, A. Haas vom Bernischen Historischen Museum in Bern, B. Hug vom Musée cantonal d'Archéologie in Neuenburg sowie PD Dr. F.H. Schweingruber und Dr. O.U. Bräker von der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) in Birmensdorf.

[6] Teilgenommen haben: PD Dr. F. H. Schweingruber, Dr. O.U. Bräker und W. Schoch von der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Dr. R. Wyss, Dr. B. Mühle-

thaler, Dr. J. Bill, W. Kramer, J.Th. Elmer und T. Weidmann vom Schweizerischen Landesmuseum, Dr. Chr. Osterwalder und A. Haas vom Bernischen Historischen Museum, Dr. M. Egloff und B. Hug vom Musée cantonal d'Archéologie in Neuenburg sowie C. de Tassigny, A. Ginier-Gillet und M.-D. Deschard vom Centre d'Etudes Nucléaires in Grenoble. An dieser Sitzung wurden auch die Meßergebnisse der Druckprüfung und der Biege-/Bruch-Versuche sowie eine reichhaltige Photodokumentation und ein Versuch einer Taxierungstabelle vorgelegt.

An einer weiteren Sitzung am 17. März 1978 im Bernischen Historischen Museum in Bern wurden die Proben teilweise nochmals besprochen und auch die Publikation der Ergebnisse vorbereitet. Daran teilgenommen haben: Dr. Chr. Osterwalder und A. Haas vom Berrnischen Historischen Museum, Dr. J. Bill vom Schweizerischen Landesmuseum, B. Hug vom Musée cantonal d'Archéologie in Neuenburg, C. de Tassigny vom Centre d'Etudes Nucléaires in Grenoble sowie Dr. O.U. Bräker und W. Schoch von der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen in Birmensdorf.

[7] A. Burmester, *Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit – Grundlagen und Vergütungsverfahren*, BAM-Berichte 4, 1970.

[8] F. Rathgen, *Die Konservierung von Altertumsfunden, Teile II und III*, (2. Auflage), Berlin/Leipzig 1924, bes. S. 133–140.

[9] W. von Stokar, *Ein neues Verfahren zur Konservierung von Moorhölzern*, Nachrichtenblatt für Deutsche Vorzeit 1939, S. 145–149.

[10] T. Zurowski, *Electro-Conservation*, Swiatowit 20, 1948/49, S. 500–508.

[11] B. Brorson-Christensen, *The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark*, Museumstekniske Studier 1, 1960.

[12] E. Vogt, *Das steinzeitliche Uferdorf Egolzwil 3 (Kanton Luzern)*, Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte 12, 1951, S. 193–215. – *Jahresbericht Schweizerisches Landesmuseum* 61, 1952, S. 13. – W. Kramer und B. Mühlethaler, *Über die Erfahrungen mit der Alkoholäthermethode für die Konservierung von Nassholz am Schweizerischen Landesmuseum*, Zeitschrift für Schweizerische Archäologie und Kunstgeschichte 25, 1967/68, S. 78–88.

[13] A. Haas, H. Müller-Beck und F. Schweingruber, *Erfahrungen bei der Konservierung von Feuchthölzern mit Arigal C (CIBA)*, Jahrbuch des Bernischen Historischen Museums in Bern 41/42, 1961/62, S. 509–537.

[14] H. Ebert, *Zur Feuchtholzkonservierung*, Arbeitsblätter für Restauratoren ATM 10, 1977, Gruppe 8, S. 78–80.

[15] R. Morén und B. Centerwall, *The Use of Polyglycols in the Stabilizing and Preservation of Wood*, Meddelanden fran Lunds Universitets Historiska Museum 1960, S. 176–196.

[16] R.M. Organ, *Carbowax and other Materials in the Treatment of Waterlogged Palaeolithic Wood* Studies in Conservation 4, 1959, S. 96–105.

[17] E. Stadelmann, *The Use of Mercié's Method of Freezedrying for the preparation of fungi for demonstration*, Proceedings of the IX International botanical Congress Montreal 2, S. 376.

[18] W. Van Zeist, *De mesolithische Boot van Pesse*, Museumsbulletin, Provinciaal Museum van Drenthe, 1956, S. 4–11.

[19] B. Brorson-Christensen (vgl. Anm. 9). – A.M. Rosenqvist, *Versuche zur Konservierung von Naßhölzern durch Gefriertrocknung*, Arbeitsblätter für Restauratoren ATM 6, 1973, Gruppe 8, S. 69–74. – W.R. Ambrose, *Stabilizing degraded swamp Wood by Freeze Drying*, ICOM Committee for Conservation, 4th triennial Meeting, Venice 1975, 75/8/4.

[20] H. McKerrell, E. Roger und A. Versanyi, *The Aceton/Rosin method for conservation of waterlogged wood*, Studies in Conservation 17, 1972, S. 111–125.

[21] C. de Tassigny, in diesem Beitrag.

[22] R.A. Munnikendam, *Conservation of Waterlogged Wood using Radiation Polymerization*, Studies in Conservation 12, 1967, S. 70–75. – R.A. Munnikendam und Th. J. Wolschrijn, *Further Remarks on the Impregnation of porous Materials with Monomers*, Studies in Conservation 14, 1969, S. 133–135.

[23] K. Borgin, *Progress report on evaluating the Thessaloniki Process*, The International Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration 7, 1978, S. 314–319.

[24] *ICOMOS-Kolloquium Ludwigsburg 1969, Fragen zur Holzkonservierung*, Deutsche Kunst und Denkmalpflege 27, 1969, S. 89–178.

[25] W.A. Oddy, *Problems in the Conservation of Waterlogged Wood*, Maritime Monographs and Reports 16, 1975.

[26] Wir danken dem Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung für die finanzielle Unterstützung bei der Beschaffung und Bearbeitung von Proben und der Auswertung der Ergebnisse.

[27] B. Mühlethaler, *Conservation of waterlogged wood and wet leather*, Eyrolles, Paris 1973, 72 S. – W. Dzbenski, *Kryteria oceny technicznych własnosci dębowego drewna wykopaliskowego*, Zeszyty Naukowe SGGW-Lesnictwo z. 14, 1970. – D. Fengel, *Chemische und elektronenmikroskopische Untersuchung eines fossilen Fichtenholzes*, Holz als Roh- und Werkstoff 29/8, 1971, S. 305–314. – D. Fengel, *Fossile Hölzer im Elektronenmikroskop*, Umschau 73/17, 1973, S. 533–534. – H. Bednar und D. Fengel, *Physikalische, chemische und strukturelle Eigenschaften von rezentem und subfossilem Eichenholz*, Holz als Roh- und Werkstoff 32/3, 1974, S. 99–107. – W.A. Oddy, (vgl. Anm. 25). – Y. Trenard und P. Guéneau, *Sauvegarde des bois historiques ayant séjourné dans l'eau*, Bulletin d'Informations Techniques, Centre Technique du Bois, Nr. 73, 1975, S. 4–5. – Yu. V. Vikhrov und V.A. Borisov, *(The physical properties of archaeological specimens of Pine wood)*, Lesnoi Zhurnal 6, 1975, S. 96–99.

[28] Die Methode Carbowax konnte aus Zeitmangel nicht bis zur vollständigen Stabilisierung der Proben durchgeführt werden; die Ergebnisse sind daher mit Vorbehalt zu beurteilen.

[29] B. Schulze und G. Theden, *Polarisationsmikroskopische Untersuchungen über den Abbau des Werkstoffes Holz durch holzzerstörende Pilze*, Holz als Roh- und Werkstoff 1/14, 1938, S. 548–554. – V. Rypacek, *Biologie holzzerstörender Pilze*, VEB Fischer, Jena 1966. – F.H. Schweingruber, *Mikroskopische Holzanatomie*, Zürcher AG, Zug 1978, 226 S.

[30] H. Orth, *Die Steinzeithölzer von Bad Wollishofen/Schweiz*, Holzforschung 27/3, 1973, S. 96–99. – B. Arnold und F. Schweingruber, *Etudes archéologiques et botaniques sur les pilotis de la palissade de la station nord d'Auvernier* (Lac de Neuchâtel), Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles 98, 1975, S. 175–193.

[31] F. Kollmann, *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*, Springer, Berlin 1951.

[32] Vgl. auch K. Borgin, G. Tsoumis und C. Passialis, *Density and Shrinkage of Old Wood*, Wood Science and Technology 13, 1979, S. 49–57.

[33] H. Müller-Beck und A. Haas, *Holzkonservierung mit Arigal C (Ciba)*, Jahrbuch des Bernischen Historischen Museums in Bern 37/38, 1957/58, S. 260–271.

[34] A. Haas, *Erfahrungen und Prüfungsergebnisse zur Feuchtholzkonservierung mittels Arigal C*, Zeitschrift für Museumstechnik, «Der Präparator» 10, 1964, S. 113–118. – A. Haas, *Weitere Fortschritte bei der Konservierung von Feuchthölzern mit Arigal C (Ciba)*, Jahrbuch des Bernischen Historischen Museums in Bern 45/46, 1965/66, S. 485–488. – A. Haas, H. Müller-Beck und F. Schweingruber (vgl. Anm. 13).

[35] Beschreibung in A. Haas (vgl. Anm. 34).

[36] Zitiert in A. Haas (vgl. Anm. 34).

[37] Vgl. Anm. 13.

[38] A. Haas, *Weitere Fortschritte bei der Konservierung mit Arigal C*, Arbeitsblätter für Restauratoren ATM 2, 1969, Gruppe 8, S. 16–20.

[39] B. Brorson Christensen, *Om konservering af mosefundne Traegenstande*, Aarbøger for Nordisk Oldkyndighed og Historie, 1951, S. 22–55.
[40] W. Kramer und B. Mühlethaler (vgl. Anm. 12).
[41] Vgl. Anm. 25.
[42] J. Th. Elmer, *Die Gefriertrocknung neolithischer Gewebe und Geflechte*, Arbeitsblätter für Restauratoren ATM 6, 1973, Gruppe 10, S. 17–22.
[43] L. Barkman, *Konservierung von Holz des Kriegsschiffes Wasa*, Deutsche Kunst und Denkmalpflege 27, 1969, S. 138–146. – W. Kramer und B. Mühlethaler (vgl. Anm. 12). – B. Mühlethaler, *Über den heutigen Stand der Feuchtholzkonservierung*, Deutsche Kunst und Denkmalpflege 27, 1969, S. 111–116.
[44] Vgl. Anm. 42.
[45] A. M. Rosenqvist (vgl. Anm. 19).
[46] W. R. Ambrose (vgl. Anm. 19).
[47] Nach einem kurzen Bleichbad wurden die Probehölzer in ein etwa 4faches Volumen von Polyäthylenglykollösung (5% PEG 400, 5% PEG 1000, 0,5% eines Gemisches von 7 Teilen Borax und 3 Teilen Borsäure, Rest Wasser) bei 40 °C konstanter Temperatur eingelegt. Nach 2 Wochen ein Zusatz von 5% PEG 1000. Nach einer weiteren Woche frische Lösung von gleicher Zusammensetzung, die nach 2 Tagen um weitere 5% PEG 1000 angereichert wurde. Für etwa 1 Monat wurden die Proben in dieser Lösung belassen. Ein letztes Bad wurde für die nun nach Zeitepochen getrennten Hölzer angesetzt, wobei die Konzentration um weitere 5% PEG 1000 (für die bronzezeitlichen Proben um zusätzliche 5% PEG 400) erhöht wurde. In dieser Lösung lagen die Proben nun rund 3 Monate.
[48] Vgl. Anm. 15.
[49] Vgl. Anm. 24, bes. S. 130–146.
[50] Verschiedene Autoren in W. A. Oddy (vgl. Anm. 25). – J. de Jong, *Conservation Techniques for Old Waterlogged Wood from Shipwrecks found in the Netherlands*, in: H. A. Walters, *Biodeterioration Investigation Techniques*, Essex Applied Science Publishers, 1977, S. 295–338. – J. de Jong, *The Conservation of Shipwrecks*, ICOM Committee for Conservation, 5th Triennial Meeting, Zagreb 1978, 78/7/1/1–10.
[51] W. Karner und K. Vymazal, *Konservierung von Naßholz*, Fundberichte aus Österreich 16, 1977, S. 159–172.
[52] G. de Guichen, T. Gautmann, B. Mühlethaler, *Méthode de conservation du bois provenant de cités lacustres par diffusion d'un monomère et polymérisation par rayonnement gamma*, Thèse Ecole polytechnique de Lausanne, 1966. – B. Detanger, R. Ramiere, C. de Tassigny, R. Eymery, L. de Nadaillac, *Application de techniques de polymérisation au traitement des objets en bois gorgé d'eau*, International Conference on Application of Nuclear Methods in the field of work of Art, Venise (24–26 mai 1973), Accademia nazionale dei Lincei, Rome 1976.
[53] R. A. Munnikendam (vgl. Anm. 22).
[54] C. de Tassigny teilt dazu mit, daß bei der Probenserie nicht auf die Erhaltung der Kanten geachtet worden sei. Bei Objekten mit wichtigen Bearbeitungsspuren würde aber die Behandlung so geändert, daß dieser nachteilige Aspekt eliminiert wird.

ABBILDUNGSNACHWEIS

Abb. 1, 31–35: Schweizerisches Landesmuseum, Zürich
Abb. 2–6, 8–24: Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf
Abb. 7: Institut für mikrotechnologische Holzforschung, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich (A. Hirzel)
Abb. 25–27: Bernisches Historisches Museum, Bern
Abb. 28–30, 36: Musée cantonal d'archéologie, Neuenburg
Abb. 37–38: Commissariat à l'Energie Atomique, Centre d'Etudes Nucléaires, Grenoble