

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

Herausgeber: Schweizerisches Nationalmuseum

Band: 36 (1979)

Heft: 2

Artikel: Ergebnisse des Nassholzkonservierungsversuches :
naturwissenschaftliche Wertung

Autor: Bräker, Otto U. / Schoch, Werner / Schweingruber, Fritz H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-167223>

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: 12.01.2026

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

verwendete Methode für botanische Pilzsammlungen zurück¹⁷. Einer der ersten Versuche, im Bereich archäologischer Großobjekte die Gefriertrocknung anzuwenden, wurde (kurz vor 1956) an einem 3 m langen Boot in Groningen durchgeführt¹⁸. Verbesserungen erzielte man durch die Kombination mit anderen Konservierungsverfahren und dem Fachwissen aus der Lebensmittelindustrie¹⁹. Anfang der siebziger Jahre kam die Azeton-Kolophonium-Methode an gut erhaltenen Hölzern mit zur erfolgreichen Erprobung²⁰. Seit 1972 wird vom französischen Atomenergiekommissariat im Nuklearzentrum Grenoble das Projekt «Nucléart» verfolgt²¹, wobei es sich um die Methode der Polymerisation von Styren-Polyester mittels Gammastrahlung handelt, ein Weg, der von R.A. MUNNIKENDAM aufgezeigt worden ist²². Am holztechnologischen Labor der Universität Thessaloniki wurde 1975/76 eine Methode erprobt, bei der Bariumborat und -silikat im Holzinneern ausgefällt werden, und in Nairobi ist man daran, diese Salzfallungsmethode zu verbessern²³. 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, 1969²⁴, den Fragen der Holzkonservierung gewidmet, und 1973 fand ein Symposium über Naßholzkonservierung in Greenwich/London statt²⁵. Ergab sich aus dem ersten 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. SCHWEINGRUBER²⁶

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.

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 Geschmacks, 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 klargestellt und Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

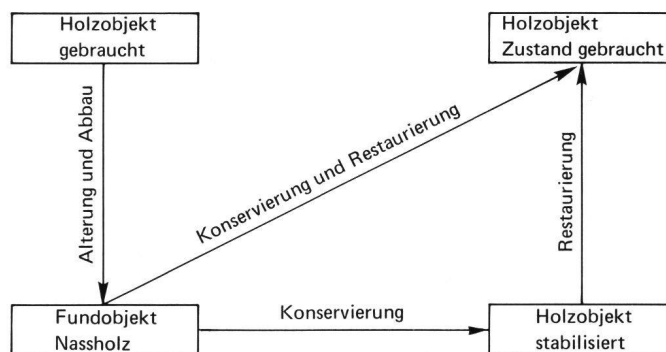


Abb. 3 Die Beziehungen zwischen einem Holzobjekt und dessen Konservierung und Restaurierung.

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. BORISOV²⁷.

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 Gefriertrocknung-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 (<i>Abies alba</i>)
Ringporiges Laubholz	Eiche (<i>Quercus</i> sp.), Esche (<i>Fraxinus</i> sp.)
Zerstreutporiges Laubholz	Weide (<i>Salix</i> sp.)

Holzphysikalische Gliederung in Abbaustufen bzw. nach Alter:



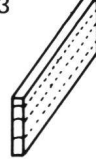



Neolithische Hölzer	weich, Pfähle von Hand brechbar
Bronzezeitliche Hölzer	Kern hart, Splint weich
Mittelalterliche Hölzer	Kern hart, äußerster Splintteil weich
Rezente Hölzer	Kern und Splint hart

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 Birmsdorf 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, $2 \times 2 \times 4$ cm, geeignet zum Prüfen der Dimensionsveränderungen (Quellen/Schwinden) und der Festigkeitseigenschaften (Druckfestigkeit, Rohdichte).
- Form 2 Langer Stab, $2 \times 2 \times 20$ cm, geeignet zum Ermitteln von Festigkeitseigenschaften (Biegefestigkeit, Rohdichte).
- Form 3 Längsbrett, etwa $1 \times 7 \times 20$ cm, geeignet zum

Probenform	1	2	3	4	5	6
Alter Epoche						
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 $1 \times 10 \times 10$ cm, geeignet zum Prüfen der Form- und Dimensionsstabilität und des Unterschiedes zwischen Kern und Splint.
- Form 6 Angekohlttes Holzsegment, etwa $2 \times 8 \times 10$ cm, geeignet zum Prüfen des Unterschiedes zwischen Holz und Holzkohle am selben Objekt.

Die zur Verfügung stehenden Holzmengen ermöglichen 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.

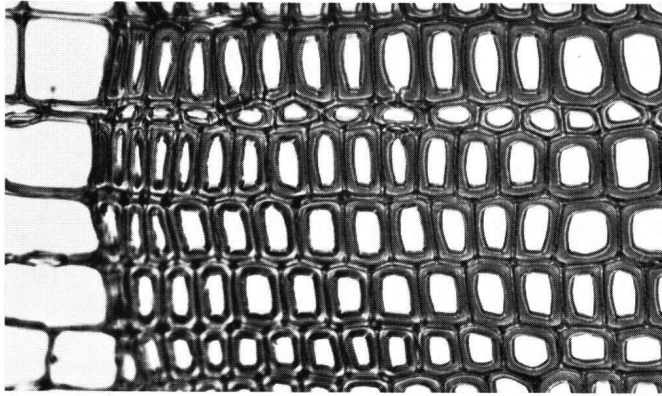
MESSUNGEN UND BEOBSACHTUNGEN AN DEN PROBen

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.

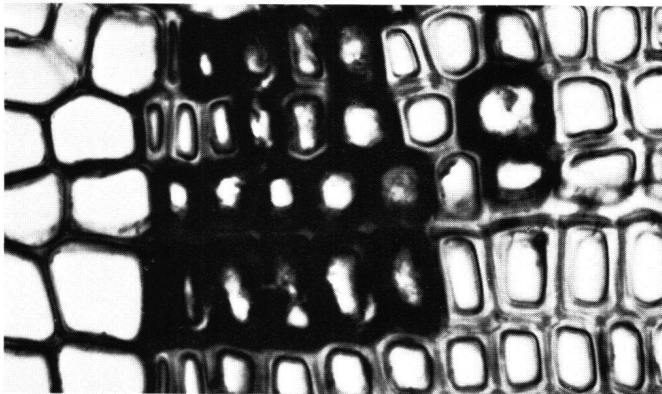
Der Abbau des Holzes erfolgt in feuchtem, sauerstoffreichem (aerobem) Milieu sehr rasch, in sauerstoffarmem (anaerobem) jedoch eher langsam. Unter normalen Bedingungen tragen vor allem viele Pilzarten zur Zersetzung der Zellwände bei. Bei anaeroben Verhältnissen, welche der Lagerung von Naßhölzern entsprechen, 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.SCHWEINGRUBER²⁹ 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 feststellen³⁰. Die Wassergehalte der Kontrollproben sind aus Abbildung 6 ersichtlich, sie lassen eine Gliederung in die Abbaustufen 1



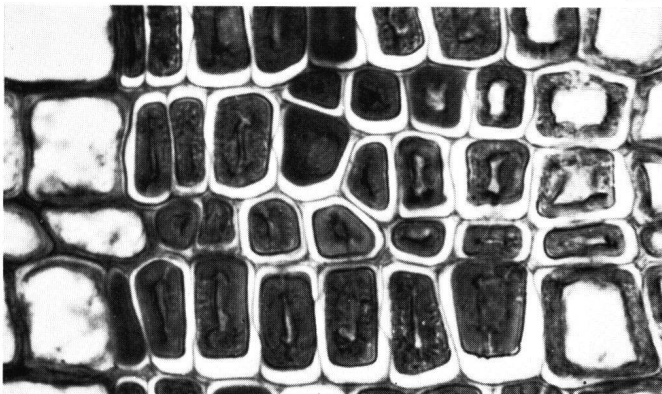
Querschnitt a

10 μ



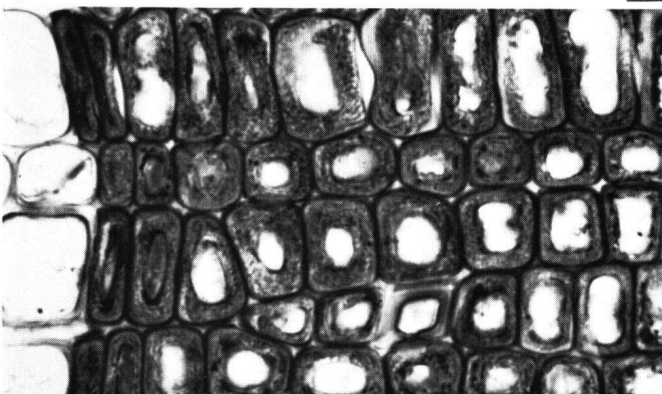
Querschnitt b

10 μ



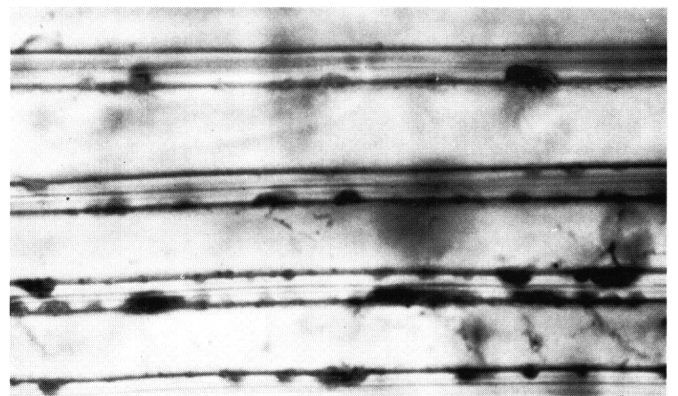
Querschnitt c

10 μ



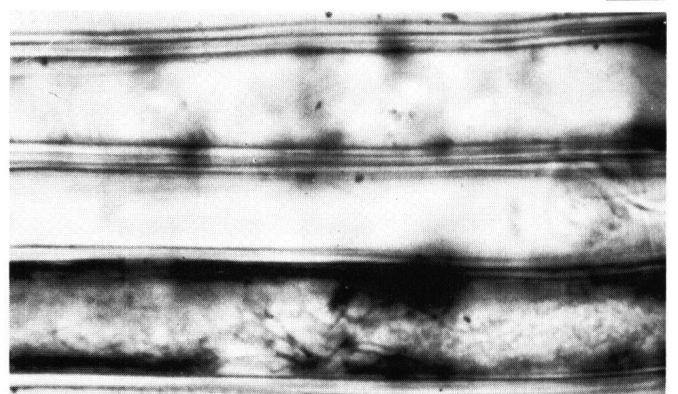
Querschnitt d

10 μ



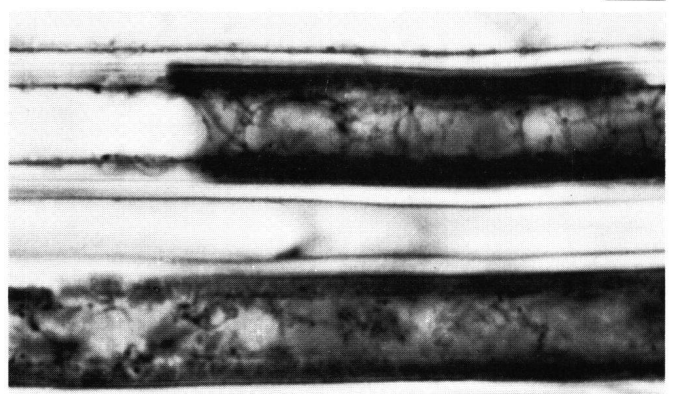
Radialschnitt e

10 μ



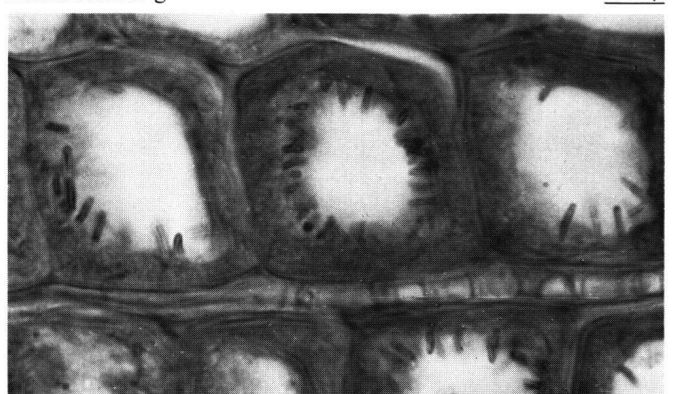
Radialschnitt f

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 (Akinomyzeten) 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 Gefrier Trocknung 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 Schnittpreparaten praktisch keine anatomischen Strukturen mehr erkennen. Für Altersbestimmungen mit der Radio-

karbonmethode (^{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 Holzrügels (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-

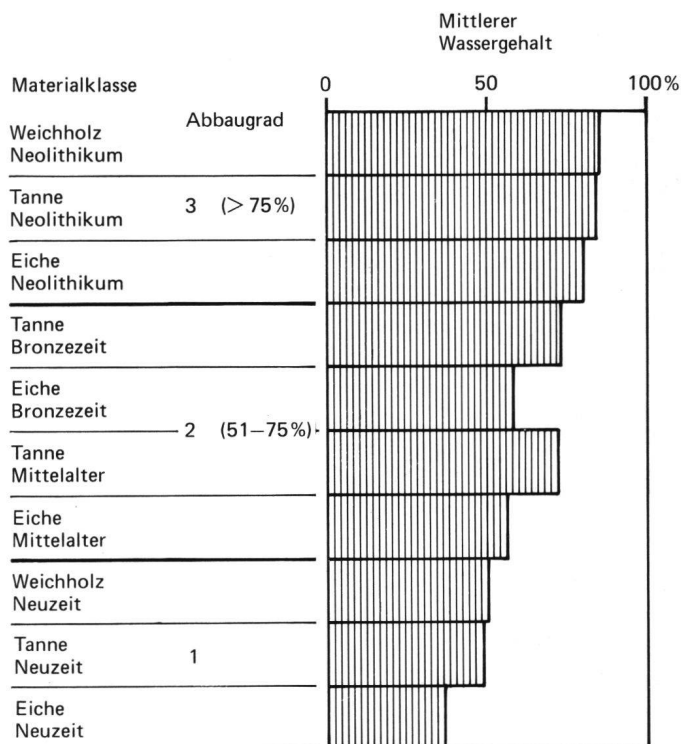
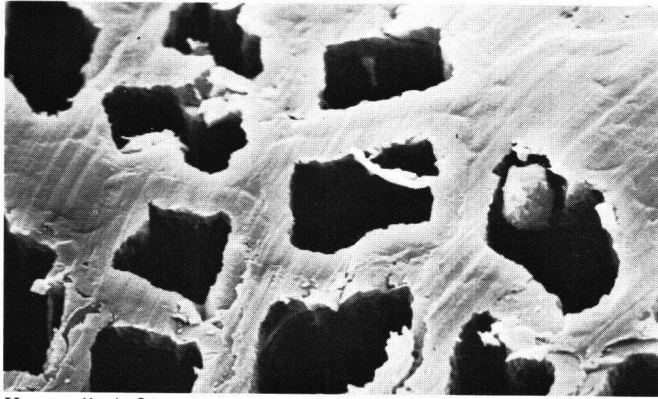
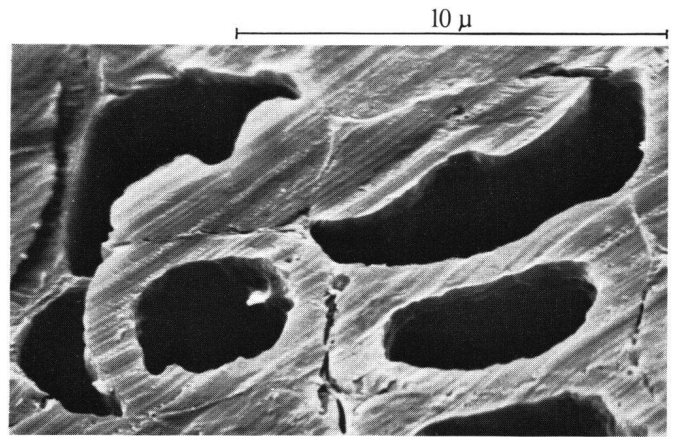


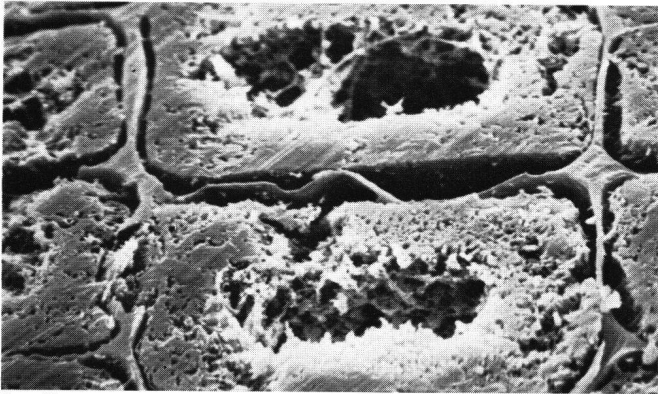
Abb. 6 Wassergehalt und Abbaugrad der einzelnen Materialklassen (Holzarten verschiedener Zeiten).



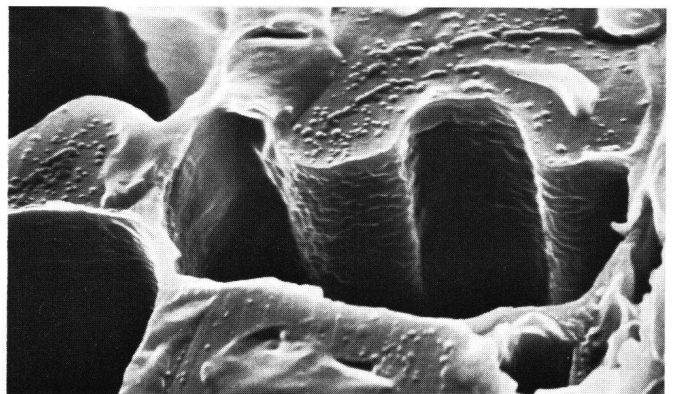
Kontrolle lufttrocken



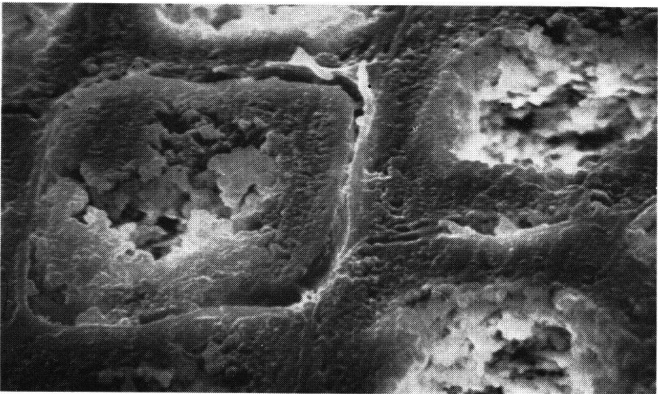
Gefriertrocknung



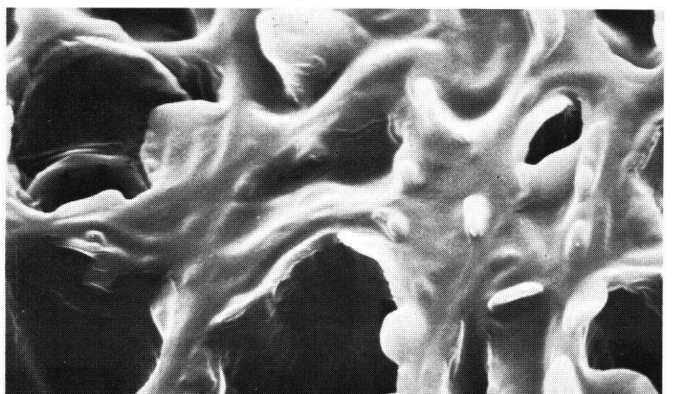
Lyofix



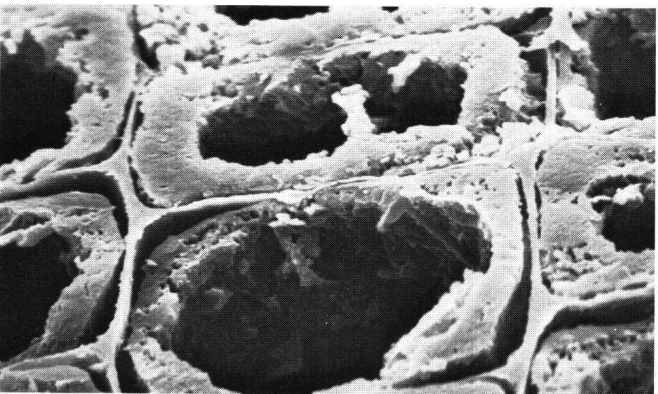
Carbowax-Gefriertrocknung



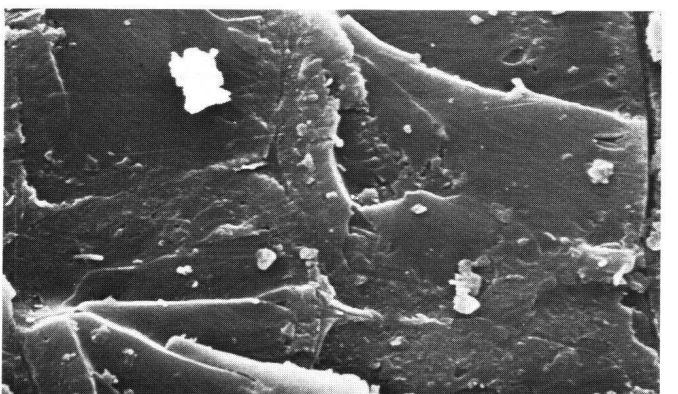
Arigal



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 größeren 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 Waxes für die mikroskopische Bestimmung zugänglich. Infolge des geringen Siedepunktes von Carbowax sind bei der REM-Aufbereitung blasenartige Artefakte ent-

standen, 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.

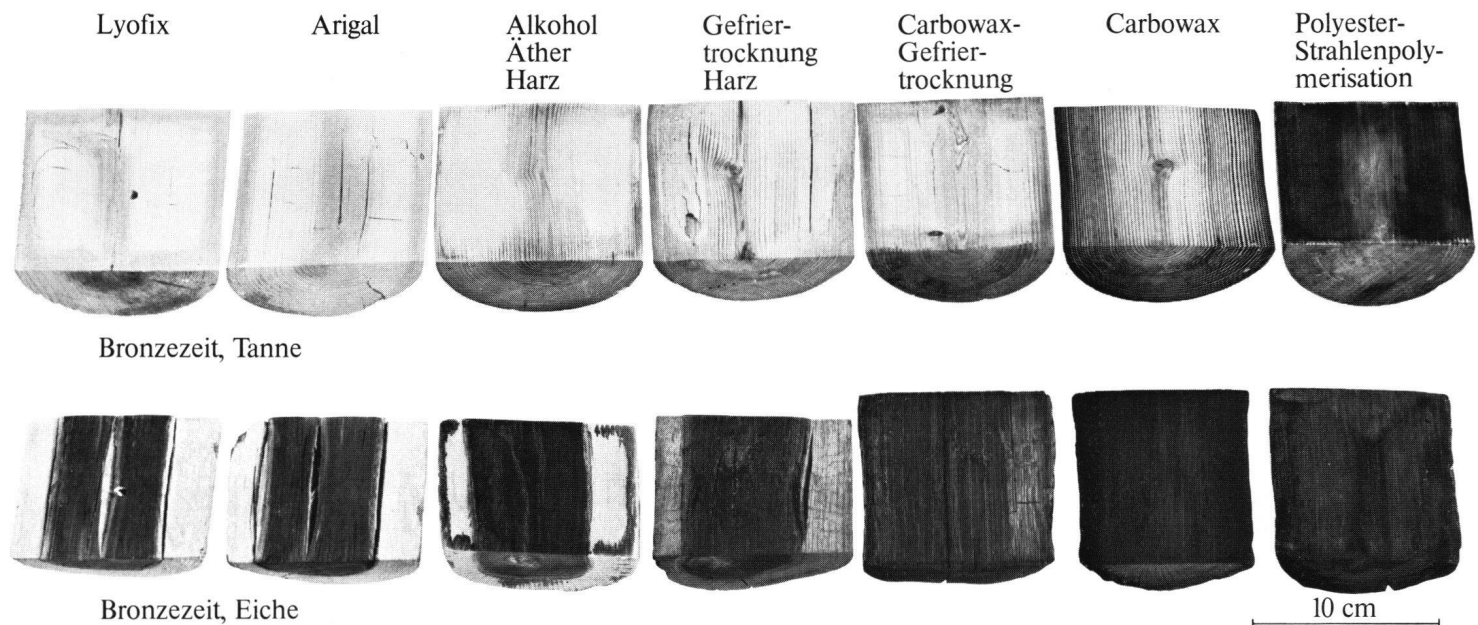


Abb. 8 Längsschnitte durch Holzrugel zeigen die Tiefenwirkung der verschiedenen Methoden in größeren Probenkörpern.

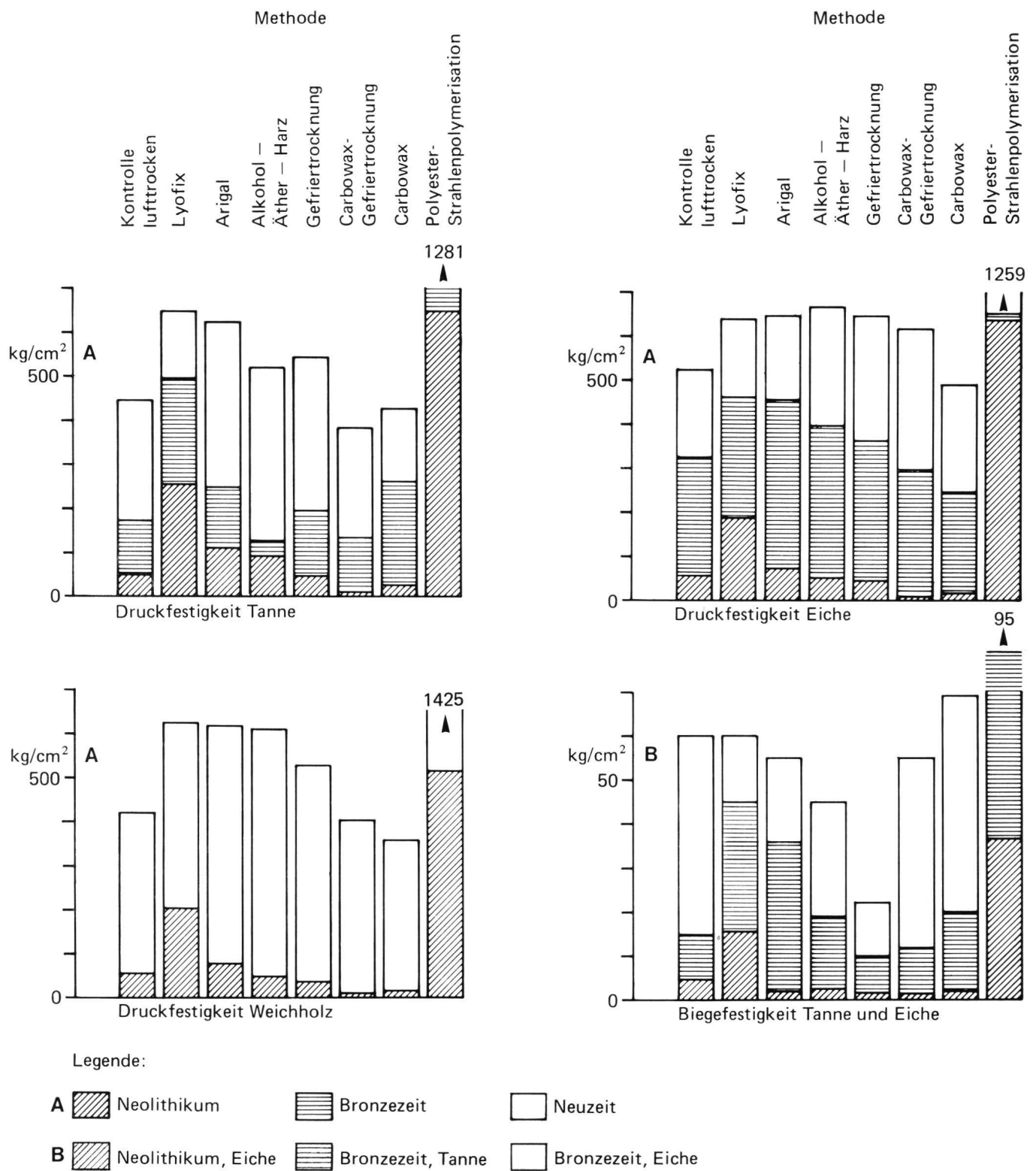
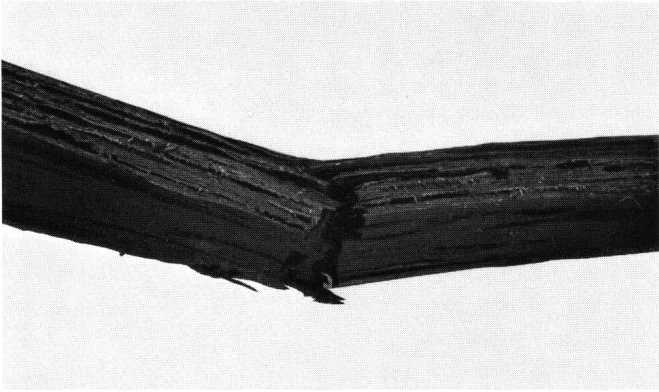


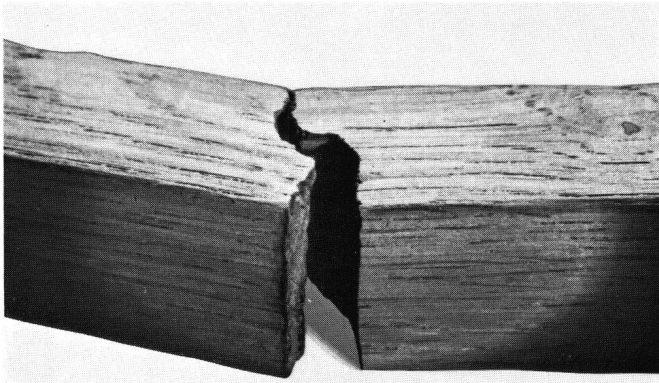
Abb. 9 Die Druck- und Biegefestigkeiten der Proben in Beziehung zu ihrem Alter, zur Holzart und zur angewandten Konservierung. Die hohen Werte bei der Polyester-Strahlenpolymerisation sind mit Zahlen angegeben, die Säulenlängen sind unvollständig. Bei der Druckfestigkeit Tanne gilt der Wert 1281 kg/cm²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

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

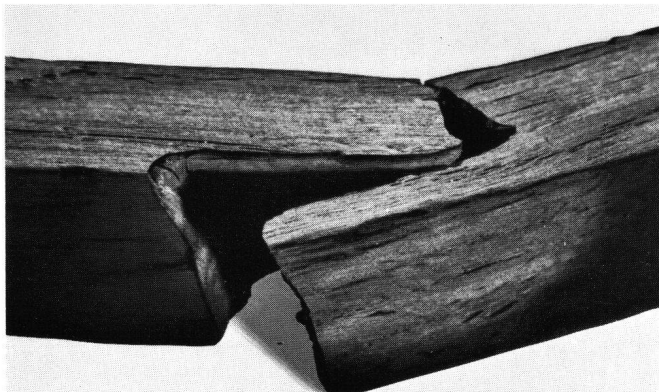
Neolithikum, Eiche (Quercus sp.)



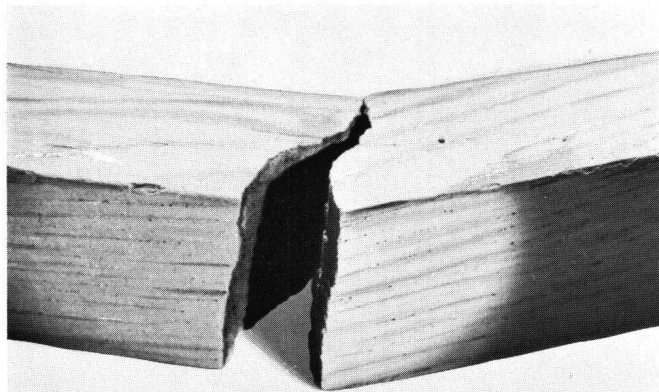
Kontrolle lufttrocken



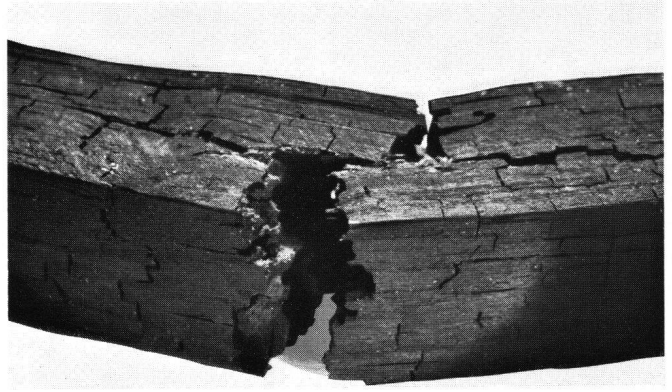
Lyofix



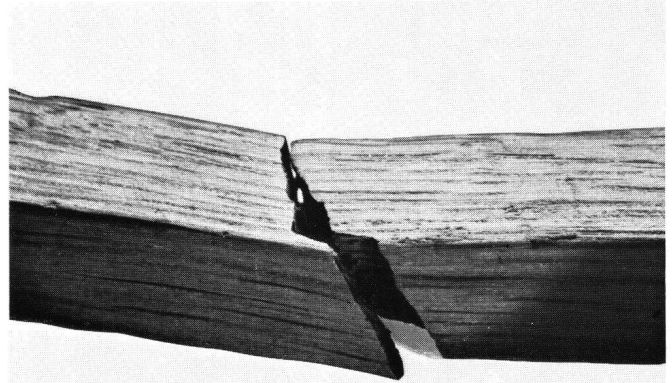
Arigal



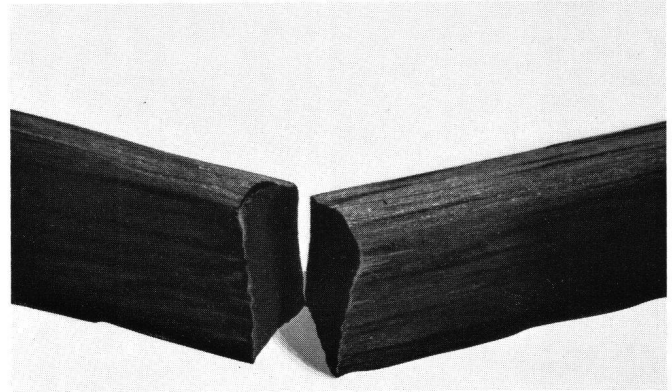
Alkohol - Äther - Harz



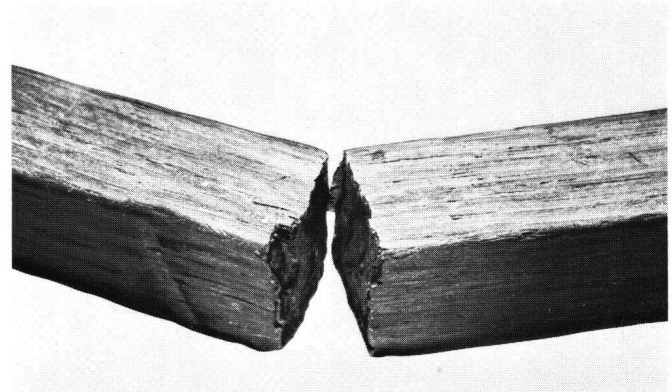
Gefriertrocknung



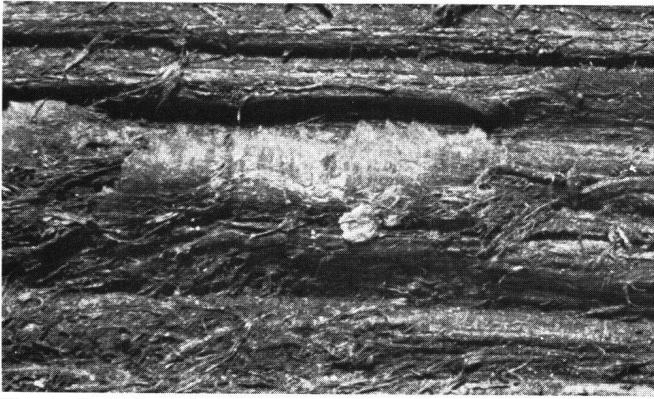
Carbowax-Gefriertrocknung



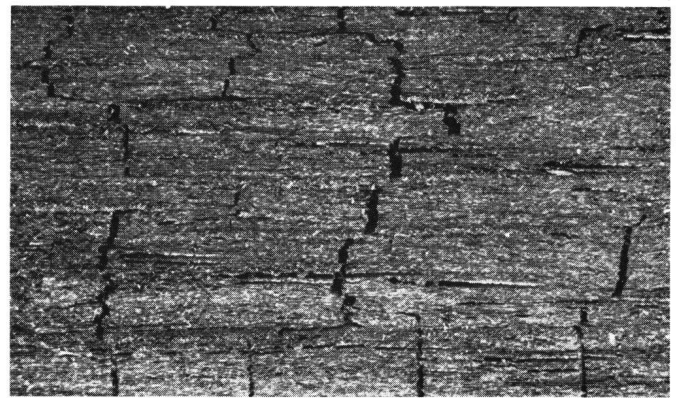
Carbowax



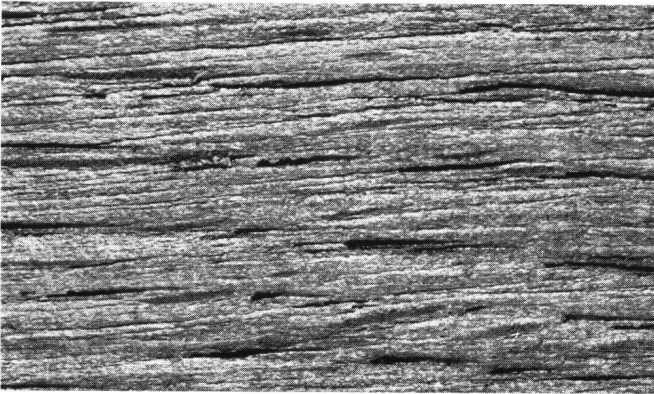
Polyester-Strahlenpolymerisation



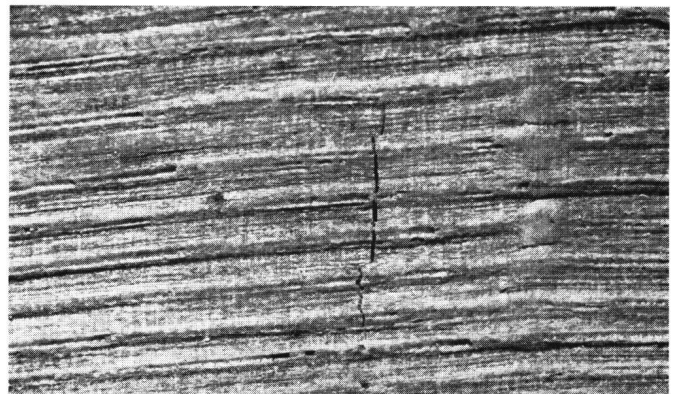
Kontrolle lufttrocken



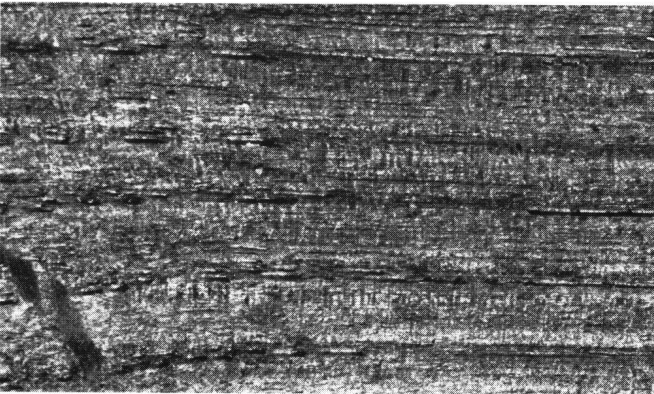
Gefriertrocknung



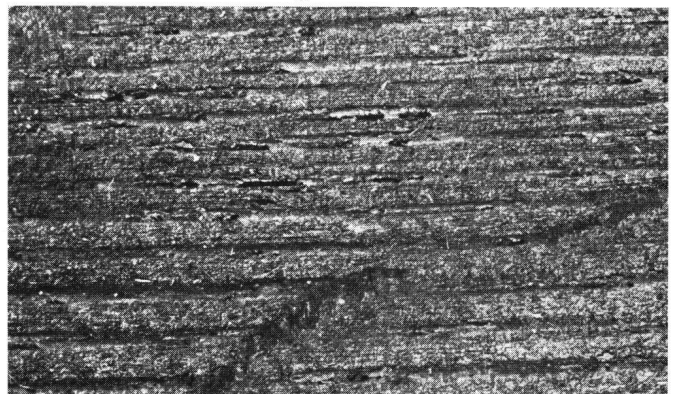
Lyofix



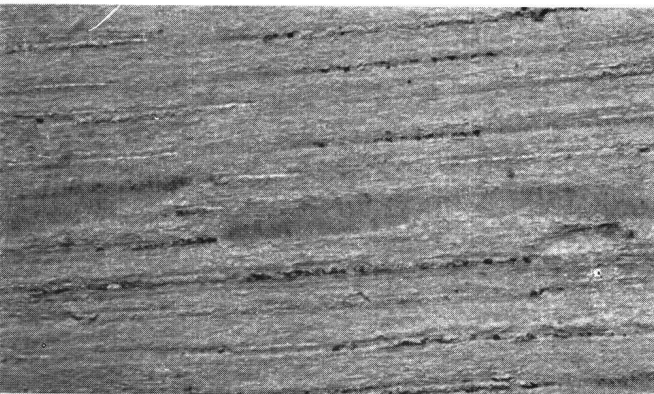
Carbowax-Gefriertrocknung



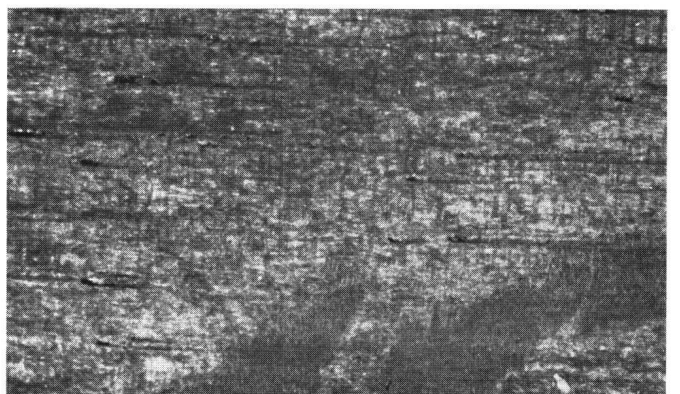
Arigal



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, splittiger 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 Holzdicke 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.KOLL-

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

Längsschwindung
prozentuale Werte
bezüglich Ausgangslänge

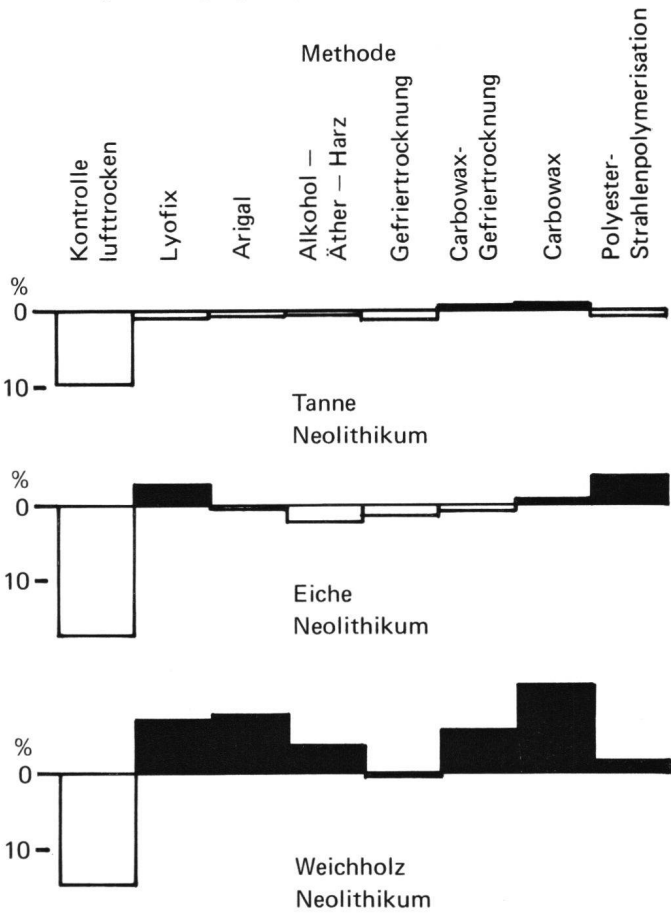


Abb. 12 Die Längsschwindung neolithischer Proben nach verschiedenen Konservierungen. Schwarze Flächen entsprechen Quellungen.

MANN³¹ wurden für rezente Hölzer folgende mittlere Schwundmaße ermittelt:

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,

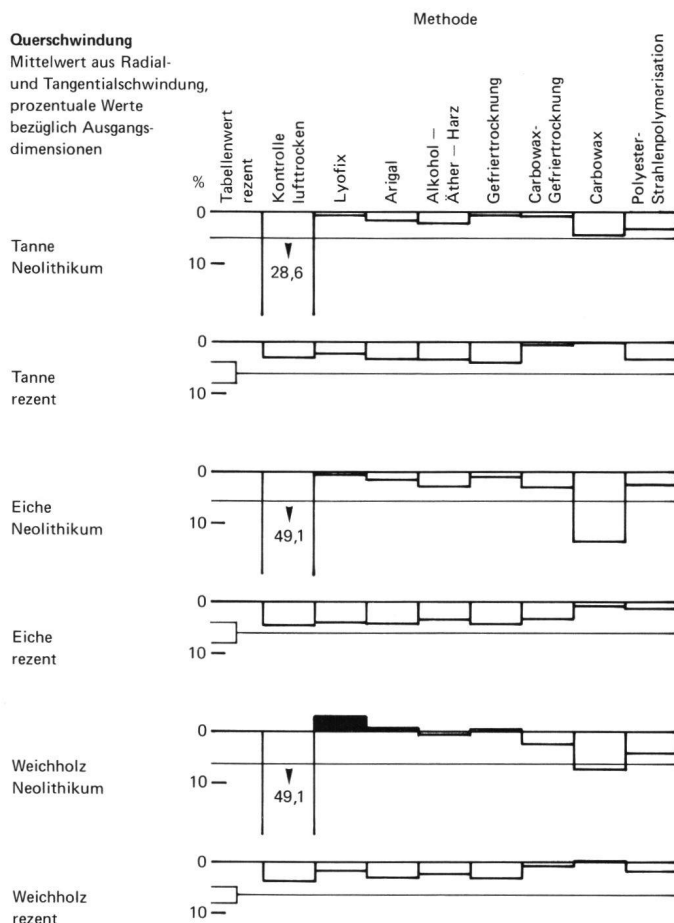


Abb. 13 Die Querswindungen neolithischer und rezenter Proben nach verschiedenen Konservierungen.

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 tangentielle Schwindung nicht getrennt gemessen werden, sie wurden als gemittelte Querswindungen dargestellt. Ihre Werte übersteigen in keiner Abbaustufe diejenigen von rezentem Holz³². 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 Querswindung 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).

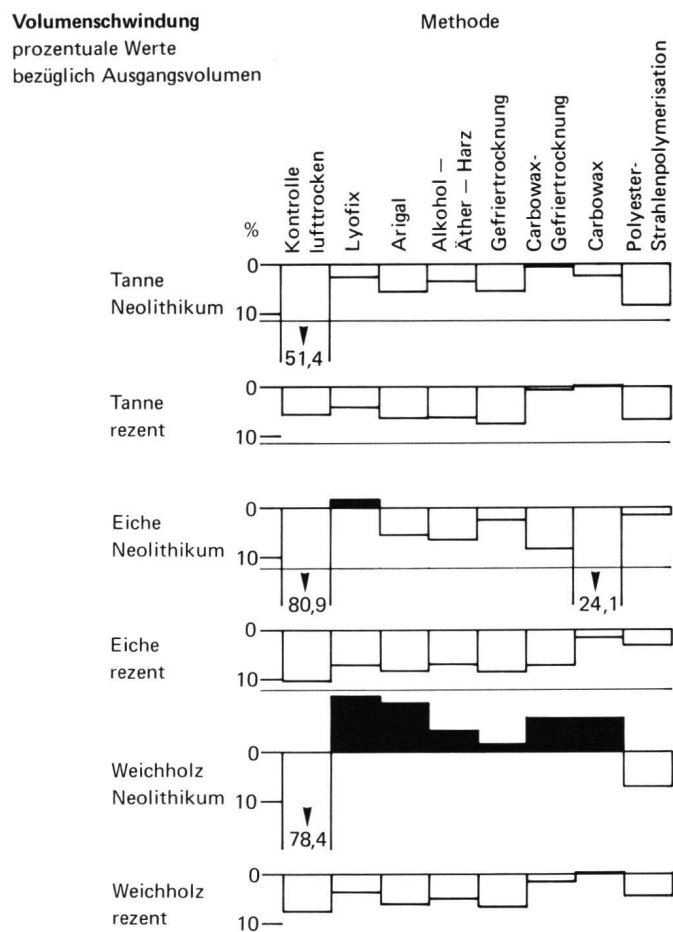


Abb. 14 Die Volumenschwindungen neolithischer und rezenter Proben nach verschiedenen Konservierungen.

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 sollten 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

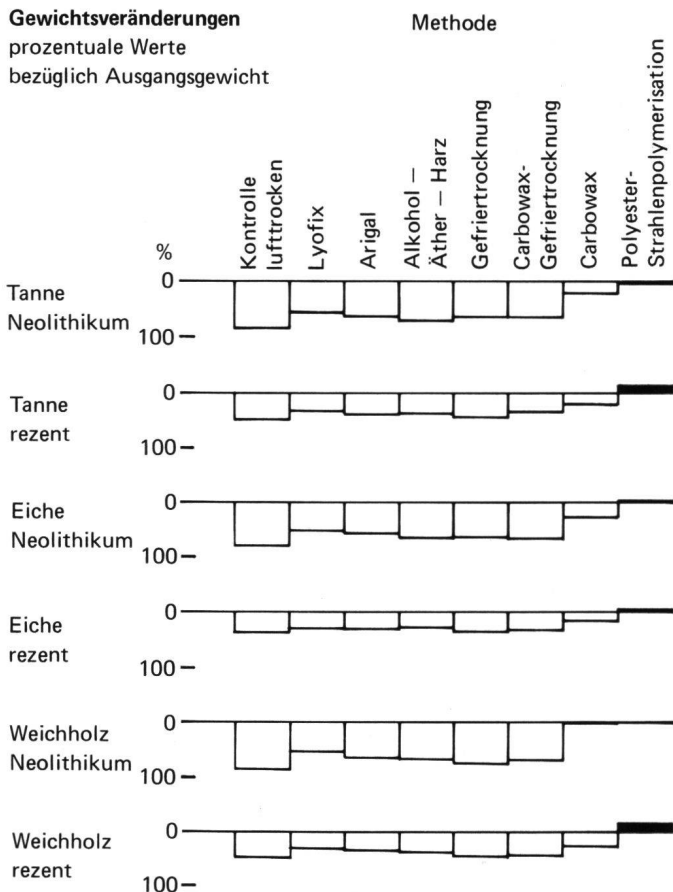


Abb. 15 Die Gewichtsveränderungen neolithischer und rezent-ter Proben durch verschiedene Konservierungen.

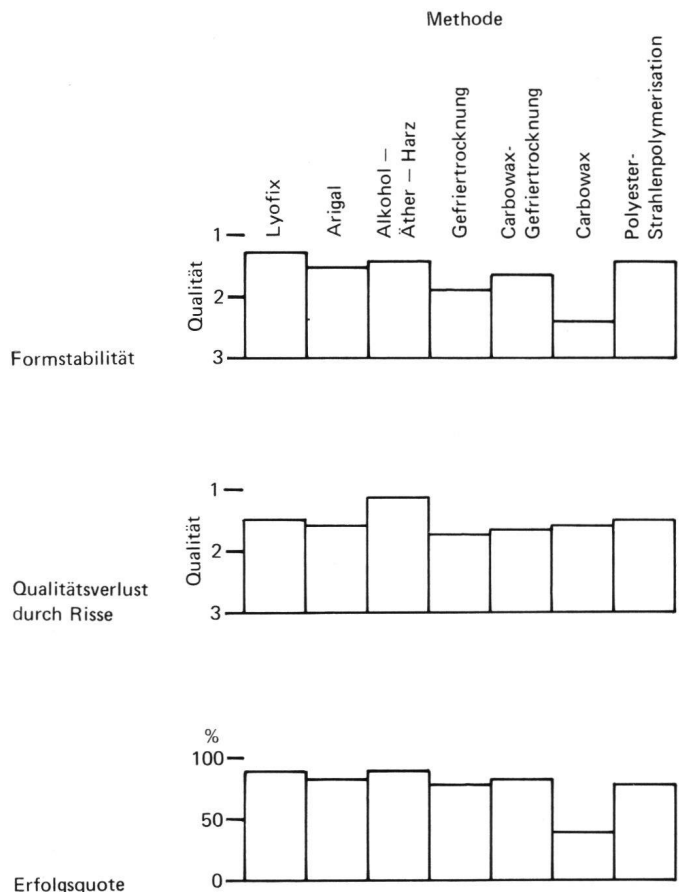


Abb. 17 Die Taxierungsergebnisse der Formstabilität, des Qualitätsverlustes durch Risse und der Erfolgsquote, Mittelwerte von 4 Beurteilern.

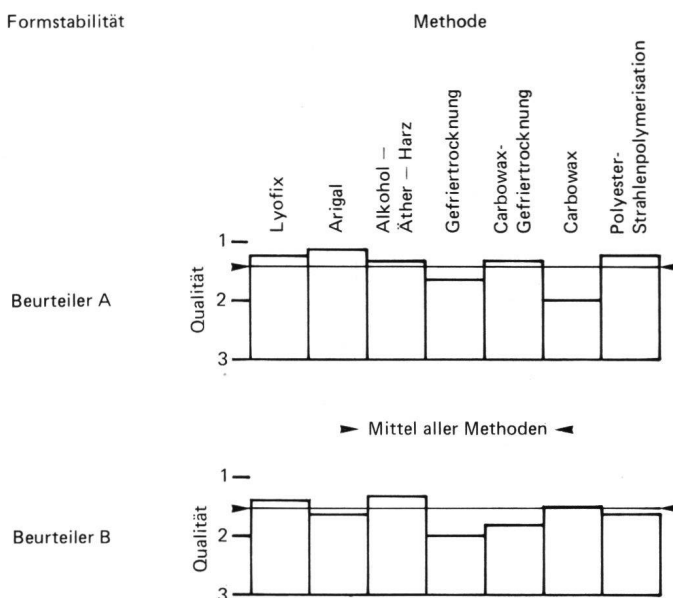


Abb. 16 Die Taxierungsergebnisse der Formstabilität von 2 Beurteilern A und B.

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.

		Methode									
	gültig für Abbaustufe	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

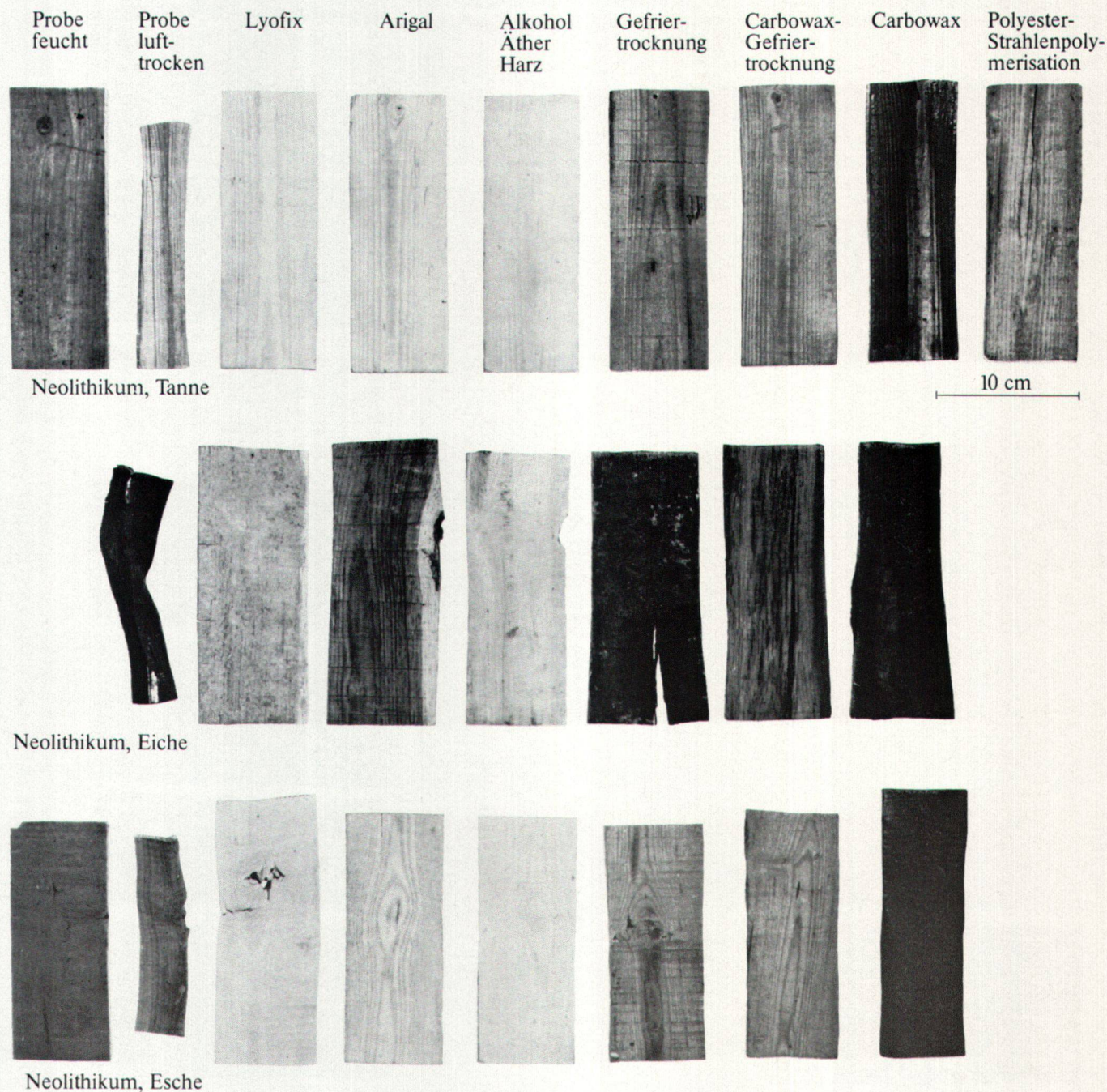


Abb. 19 Die neolithischen bodenfrischen, trockenen und konservierten Längsbretter (Form 3).

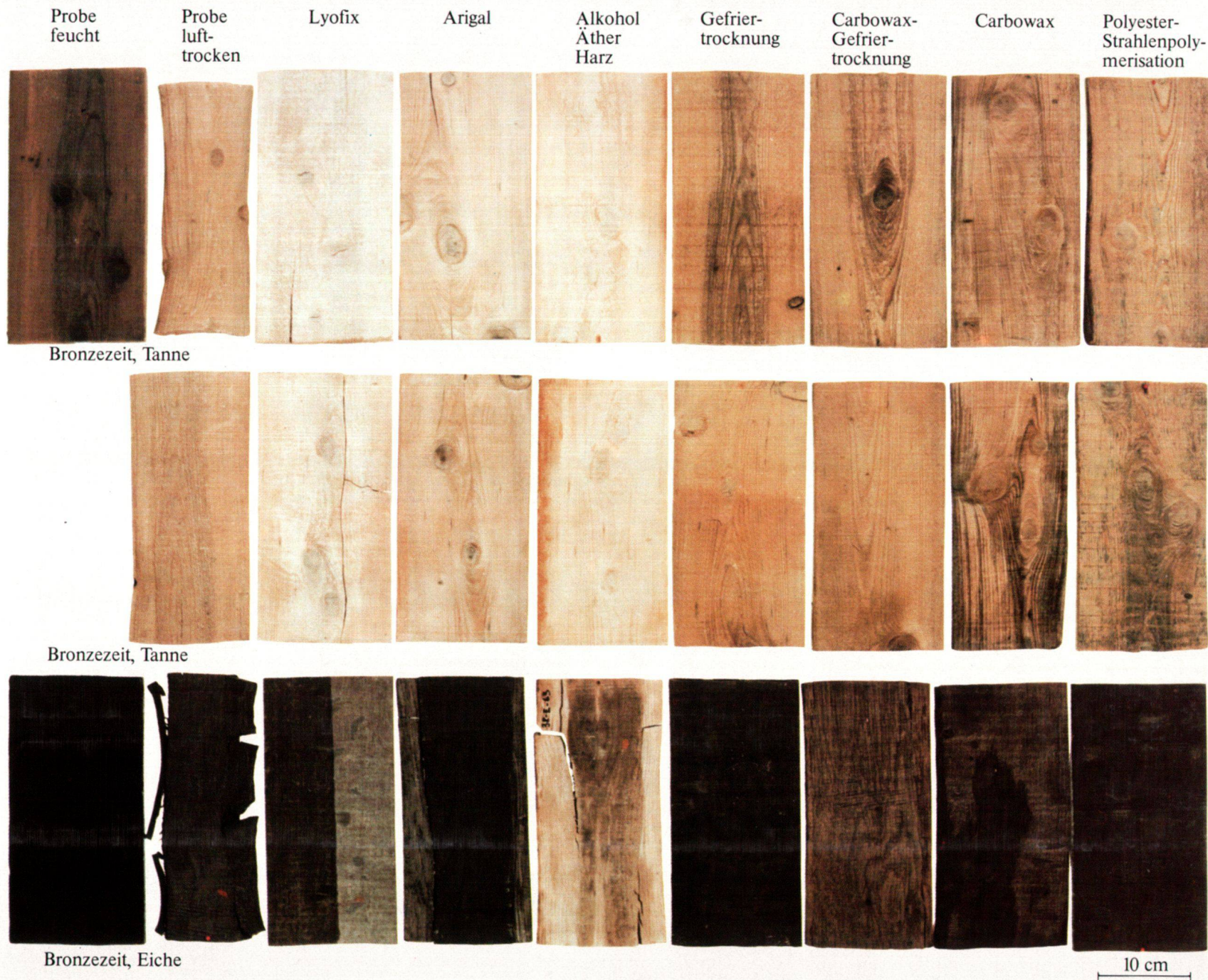


Abb. 20 Die bronzezeitlichen bodenfrischen, trockenen und konservierten Längsbretter (Form 3).

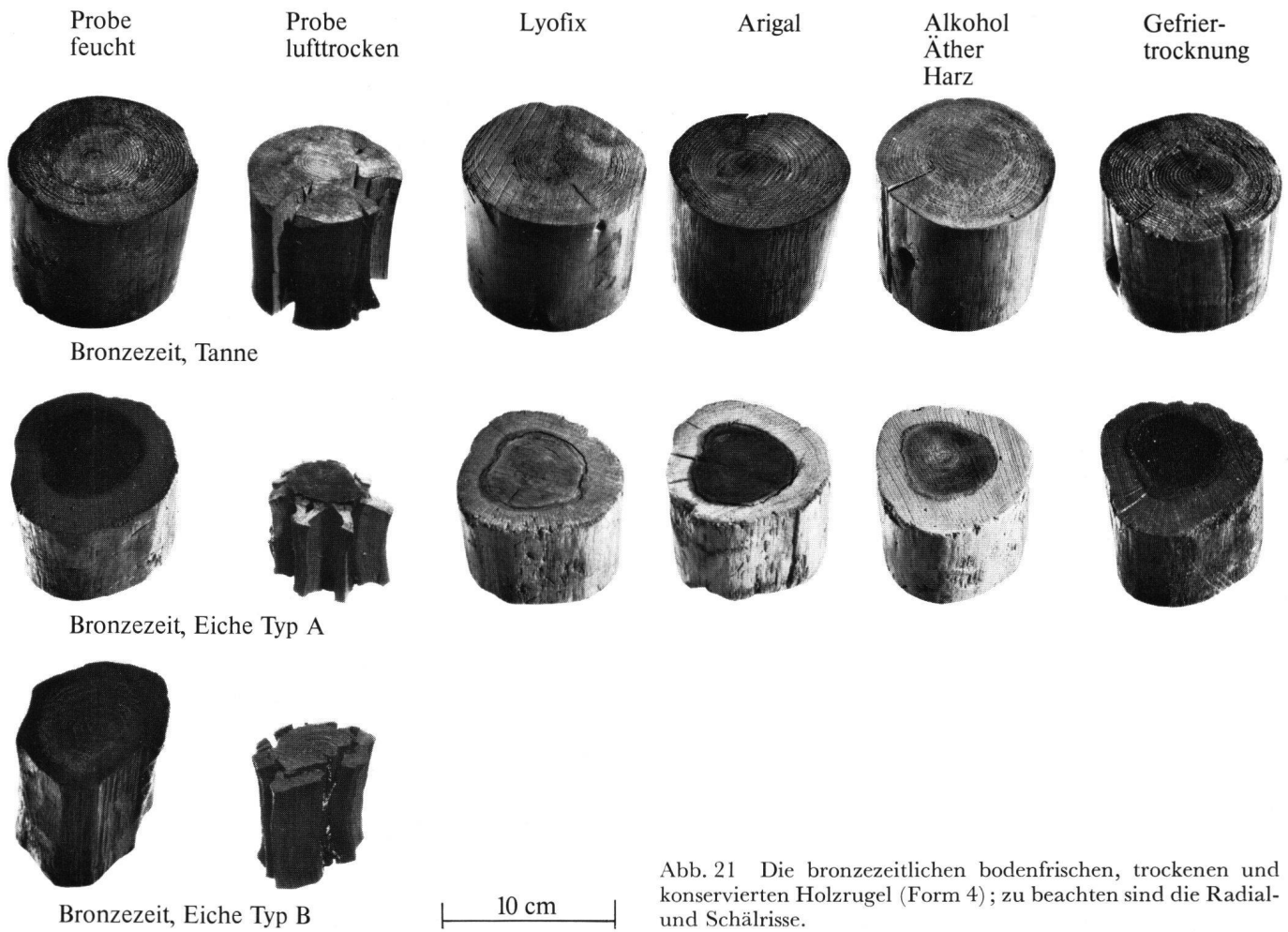
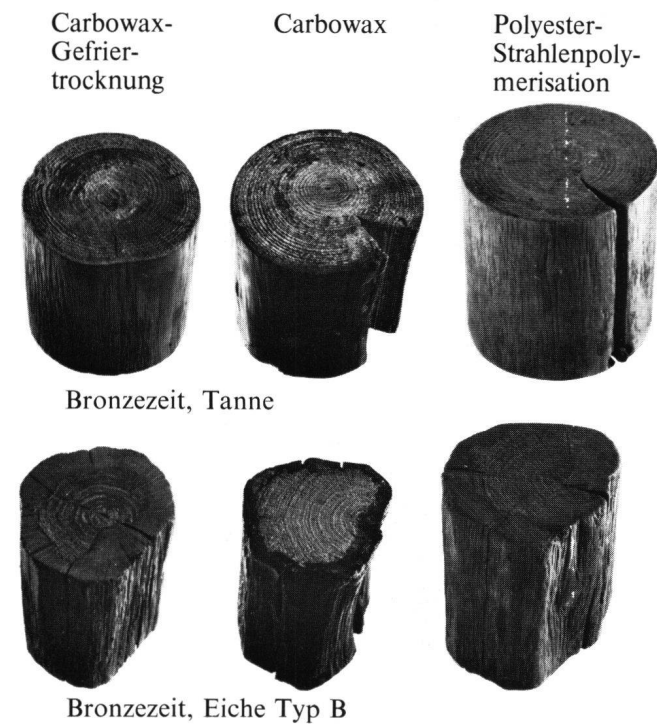


Abb. 21 Die bronzezeitlichen bodenfrischen, trockenen und konservierten Holzrugel (Form 4); zu beachten sind die Radial- und Schälrisse.



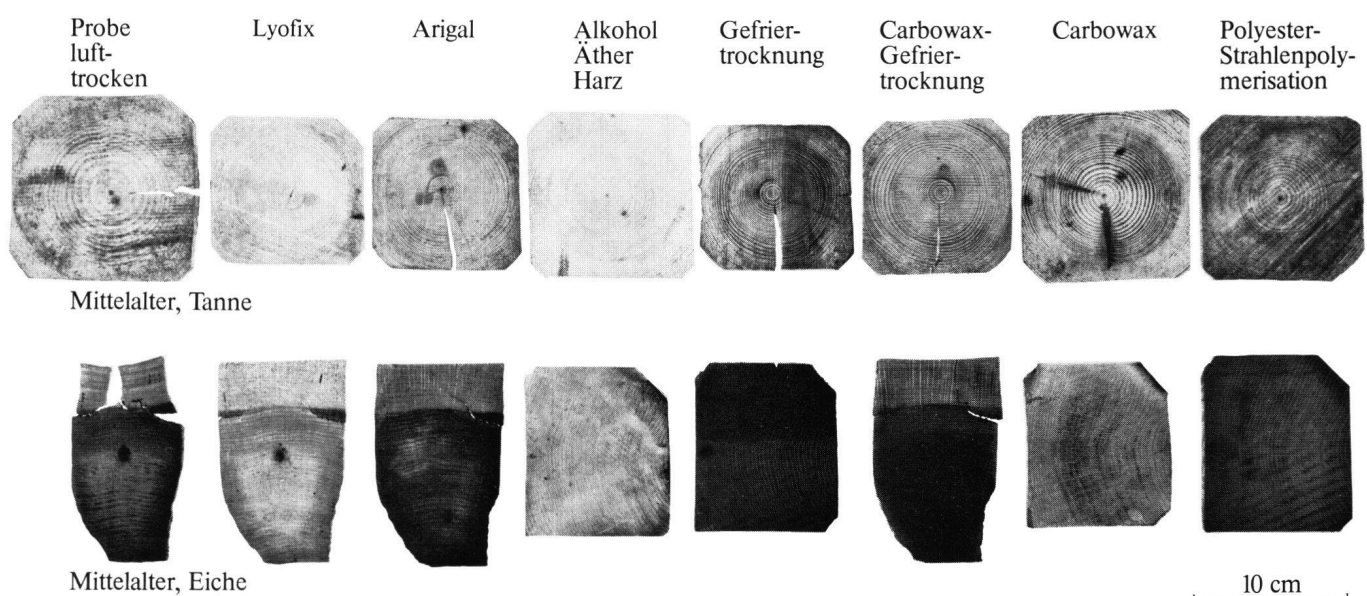
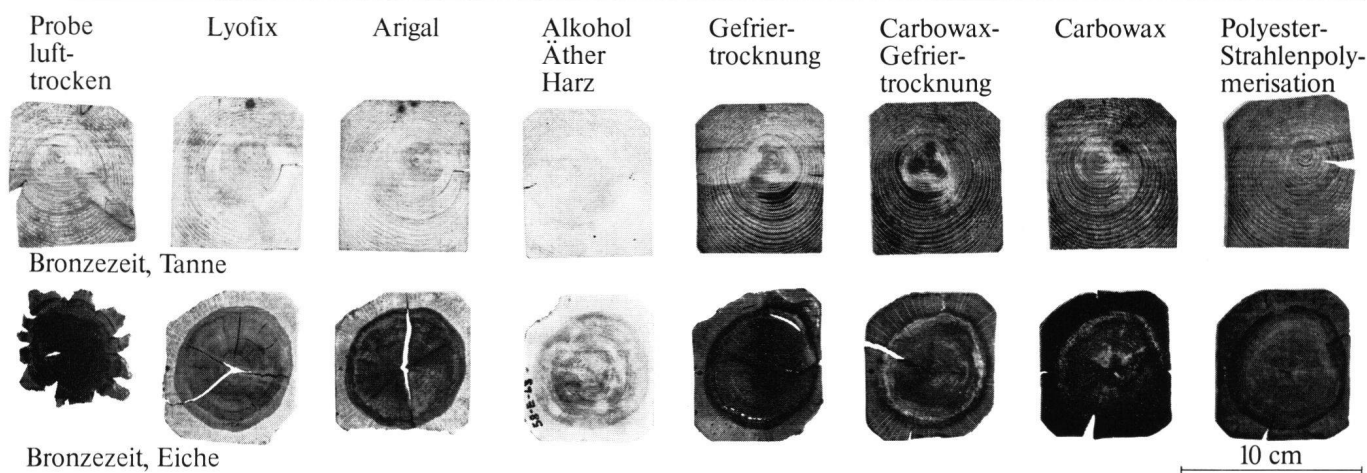
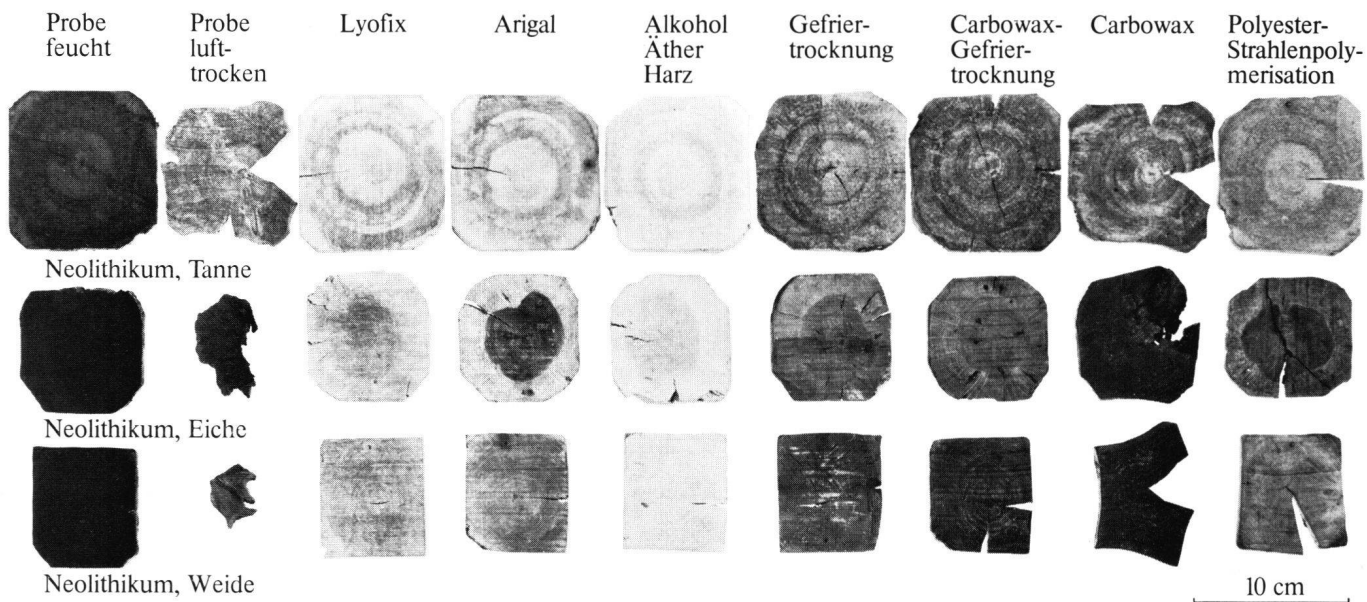
klarer erfaßt. Die Probenkörper werden aber auch bei streng klimatisierten Bedingungen nicht stabil bleiben. In bestimmten Zeitintervallen durchgeführte Vergleiche mit dem Zustand unmittelbar nach der Konservierung, allenfalls ein entsprechend angelegter Lagerungsversuch, werden allein zureichende Auskunft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