

Holzfestigung mit Kunstharzen

Von B. Mühlethaler, Zürich

Das Thema möchte ich vom Standpunkt des Chemikers im Museum aus behandeln, der die Sprache der Holztechnologen und der Kunstharzfachleute einerseits kennt und andererseits aber die Interessen und Probleme der Restauratoren und Konservierungstechniker und ihnen die für sie wichtigen Tatsachen vermitteln kann. Alle folgenden Ausführungen sind in diesem engezogenen Rahmen zu verstehen; sie gliedern sich in folgende Abschnitte:

- I. Charakterisierung des Materials „Holz“ — Chemische und physikalische Eigenschaften
- II. Holzfestigungsmittel — Zu übernehmende Funktionen
- III. Grundsätzliche Möglichkeiten
 - a) gegeben durch Struktur und Eigenschaften des Holzes
 - b) gegeben durch die Eigenschaften der Festigungsmittel
- IV. Einzelne neuere Materialien und Anwendungstechniken

I. Das Hauptmerkmal des uns interessierenden Holzes ist die verminderte mechanische Festigkeit. Sie kennen die Ursachen: *Wurm fraß*, wobei einzelne Partien des Holzes fehlen, die verbleibenden jedoch noch genau die Eigenschaften und das Verhalten gegenüber Klimateinflüssen behalten haben. Die Verminderung der Festigkeit entsteht hier durch den Wegfall verbindender Strukturelemente. Sie kennen ferner die *Pilzschäden*, die wir in unserem Zusammenhang als artspezifische chemische Veränderungen an Komponenten der Holzsubstanz betrachten müssen. Ohne äußere Kraftereinwirkung bleibt der Gegenstand in der Form erhalten; die Pilztätigkeit verändert jedoch die hygroskopischen Eigenschaften des Holzes derart, daß es auf die Klimaschwankungen weniger als normales Holz antwortet. Der Pilz hat den Träger der hygroskopischen Eigenschaften, die Zellulose, konsumiert und als Stoffwechselprodukt von seinem ursprünglichen Platz entfernt. Infolgedessen vergrößern sich die inneren Hohlräume (Abb. 1a und 1b). Oft treten beide Erscheinungen kombiniert auf, wie in Abb. 2 am Beispiel des vergoldeten Schnitzwerkes aus dem Kloster Muri (Aargau, Schweiz) gezeigt wird.

Die Umgebungsbedingungen, relative Feuchtigkeit, Temperatur, Licht, Luftverunreinigungen, können — sofern sie nicht Voraussetzungen für die Entwicklung der beiden erstgenannten Schäden sind — verantwortlich sein für mechanische Schäden, wie Werfen, Reißen und Verwitterungserscheinungen. Ebenfalls nicht mit Substanzverlust verbundene Schäden entstehen durch dauernde oder periodisch wechselnde Beanspruchungen, bei ungünstiger Aufstellung, Aufhängung oder beim Transport.

II. Die Funktionen, die das Holzfestigungsmittel übernehmen muß: Über die Anatomie des Holzes müssen wir folgendes wissen: Holz ist ein Verband geordneter und in bevorzugten Richtungen orientierter Zellen, wie in Abb. 3 schematisch gezeichnet ist. Ihr Durchmesser liegt im Mittel in der Größenordnung von einigen Hundertstel Millimetern; die Länge kann sehr verschieden sein. Die Zellen sind durch Öffnungen, die Hoftüpfel, miteinander verbunden. Ihre Wände haben einen komplizierten Aufbau, der in Abb. 4 skizziert ist. Der gezeigte Zellabschnitt weist eine schichtweise aufgebaute Wand auf; die Dicke der Schichten schwankt, sie beträgt in der Regel einige Zehntausendstel Millimeter. Soweit sind die Strukturelemente mit einem guten Mikroskop noch zu erkennen. Bei stärkerer Vergrößerung erweist sich eine solche Zellwand-schicht als ein unregelmäßiges Hohlraumsystem, das sich zwischen den bündelweise zusammengefaßten langen Kettenmolekülen der Zellulose ausdehnt (Abb. 5). Die Breite dieser interzellularen Hohlräume schwankt zwischen einigen Zehn- bis einigen Hunderttausendstel Millimetern. Noch feinere Zwischenräume finden sich schließlich zwischen den einzelnen Kettenmolekülen der Zellulose (Abb. 6). In diesen beiden letztgenannten Bereichen spielt sich das gesamte hygroskopische Geschehen im Holz ab, d.h. hier wirken sich die Quell- und Schwindungskräfte aus. Die Aufnahme und Abgabe von Wasser folgt hier chemischen und physikalischen Gesetzen; man spricht von Kapillarphänomenen, während in den größeren Hohlräumen der Leitgefäße und Zellen Wasser und andere Flüssigkeiten ohne wesentlichen Einfluß auf Volumen und Form des Holzes frei sich bewegen können.

Man hat durch Messungen belegen können, daß das hygroskopische Wasser in normalem Holz unter außerordentlich hohen Drucken von mehreren tausend Atmosphären steht. 1 g

Wasser, das unter normalen Bedingungen das Volumen von 1 cm³ einnimmt, ist in diesem Kapillarsystem auf einen Raum von einem Viertel cm³ zusammengedrückt. Die Aufnahme und Abgabe des hygroskopischen Wassers folgt in den in Abb. 7 gezeichneten Sorptionskurven. Im flachen Bereich, der einer relativen Raumfeuchtigkeit von 40–65% entspricht, ist der Feuchtigkeitsaustausch am geringsten; das Holz „arbeitet“ hier am wenigsten.

Eine wichtige Folgerung: Die Wahl des Festigungsmittels muß auf das Umgebungsklima Rücksicht nehmen, wenn dieses extreme Werte aufweist oder periodisch in extremen Grenzen schwankt.

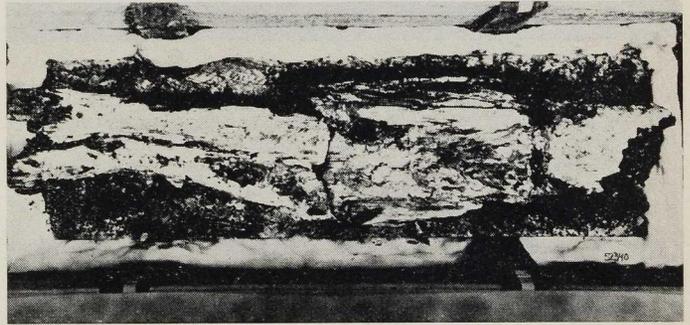


Abb. 1 a

Teil eines Crucifixus als Grabbeigabe aus Saint Maurice/Wallis
Das Holz ist durch Pilzbefall vermorscht.
Fundzustand

III. Grundsätzliche Möglichkeiten:

a) Struktur und Eigenschaften des Holzes lassen folgende Möglichkeiten zu: Wiederherstellung der mechanischen Festigkeit durch Einlagern von fremden Substanzen anstelle der verschwundenen. Das Festigungsmittel hat eine mechanische Stützfunktion zu übernehmen entweder durch vollständiges Auffüllen der Hohlräume oder als verstärkende Auskleidung auf der äußeren und mikroskopisch sichtbaren inneren Oberfläche. Wenn die Klimabedingungen extrem sind, muß das Festigungsmittel zudem in der Lage sein, die durch die Hygroskopizität bedingten Volumenänderungen zu vermeiden oder auszuschalten.

Man verlangt also vom Festigungsmittel zusätzlich eine dimensionsstabilisierende Wirkung.

Die bisher angewandten Festigungs- oder Dimensionsstabilisierungsmittel sind zum Teil feuchtigkeitsempfindlich, zum andern Teil wasserdampfdurchlässig. Ist das Festigungsmittel feuchtigkeitsempfindlich bzw. wasserdampfdurchlässig,

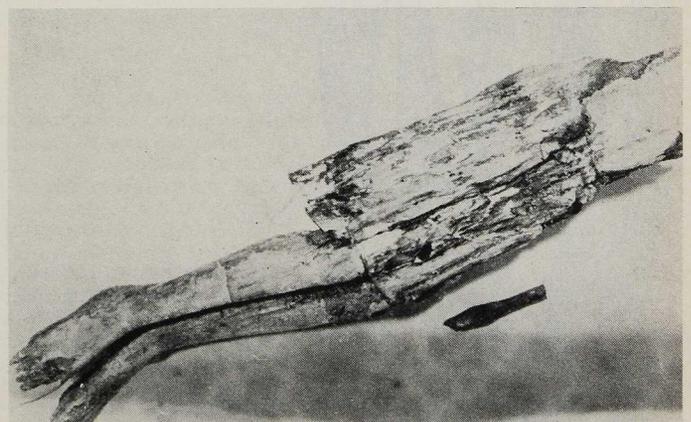


Abb. 1 b

Der Crucifixus aus Saint Maurice
nach der Konservierung

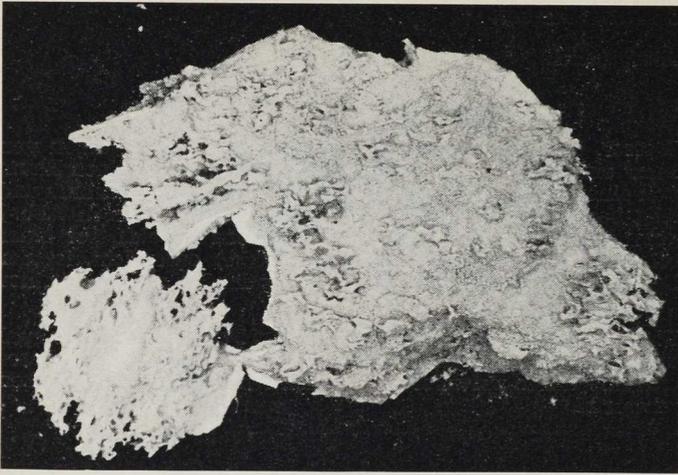


Abb. 2

Rückseite von vergoldetem Schnitzwerk aus der Klosterkirche Muri/Aargau.

Das Stück stammt aus einem Bereich hoher Mauerfeuchtigkeit; Wurmfraß und Pilzbefall treten hier kombiniert auf.

wirkt es als Puffer zwischen den Einflüssen des Klimas und der hygroskopischen Holzsubstanz. Es hängt dann von der Hygroskopizität des Festigungsmittels ab, wie weit dieses extreme Schwankungen des Klimas auffangen kann. Die Praxis hat gezeigt, daß lediglich kurzzeitige und geringe Klimaschwankungen kompensiert werden.

Feuchtigkeitsunempfindliche bzw. wasserdampfdurchlässige Festigungsmittel sollten in der Lage sein, das Holz von den Klimaschwankungen völlig abzuschließen. Die Holzsubstanz würde sich dann konstant unter den Bedingungen befinden, die bei der Imprägnierung herrschten. Diese Lösung wäre ideal, wenn es Mittel gäbe, die in dünner Schicht völlig wasserundurchlässig wären und man mit ihnen eine lückenlose Bedeckung der inneren Oberfläche des Holzes erreichen könnte. Die Tabelle I zeigt jedoch, daß es unter den Kunstharzen keine völlig wasserundurchlässigen gibt. Die in dieser Beziehung besten lassen sich für unsere Zwecke nicht verarbeiten, weil sie sich nicht in Lösung bringen lassen oder infolge ihres hochmolekularen Zustandes nicht in die Tiefe dringen können.

Mit Teerölen und niedermolekularen Kunstharzlösungen, die in das submikroskopische Hohlraumsystem des Holzes am besten eindringen können, hat man gute Erfahrungen gemacht. Überzüge der äußeren Oberfläche des Holzgegenstandes vermögen — auch wenn sie noch so dick sind — lediglich die Geschwindigkeit zu beeinflussen, mit der sich das Gleichgewicht zwischen optimaler Holzfeuchtigkeit und extremem Umgebungsklima einstellt.

Ebenfalls gegeben durch Struktur und Eigenschaften der Holzsubstanz sind Bestrebungen zur Verminderung der Hygroskopizität des Holzes selbst. Man hat versucht, durch Hitze- einwirkung die sehr hygroskopischen Hemizellulosen in weni-

ger hygroskopische Polymerisationsprodukte umzuwandeln. Eine andere Möglichkeit besteht im Austausch der Hydroxylgruppen gegen weniger hygroskopische Acetatgruppen. Ein weiterer Weg besteht in der Schaffung vernetzender Brückenbindungen zwischen Hydroxylgruppen benachbarter Struktureinheiten des Holzes, z. B. durch Behandlung von trockenem Holz mit Formaldehyd in Gegenwart starker Säuren. Gegenüber unbehandeltem Holz konnte das Quellen und Schwinden um 60 bis 70 % vermindert werden. Die starke Katalysatorsäure hat jedoch eine bedeutende Festigkeitsabnahme zur Folge. Der Weg ist interessant, bedingt jedoch das Auf- finden geeigneter, milder Katalysatoren.

b) Die Eigenschaften der Festigungsmittel lassen folgende Möglichkeiten zu:

1. Einführung von Festkörpern als Stützmittel in das Hohlraumsystem, entweder als Schmelze bei erhöhter Temperatur (z. B. Paraffin, Bienenwachs, Polyäthylenglykole) oder gelöst in Wasser bzw. organischen Lösungsmitteln bei normaler oder erhöhter Temperatur (z. B. Leime, Zucker, Polyäthylen-

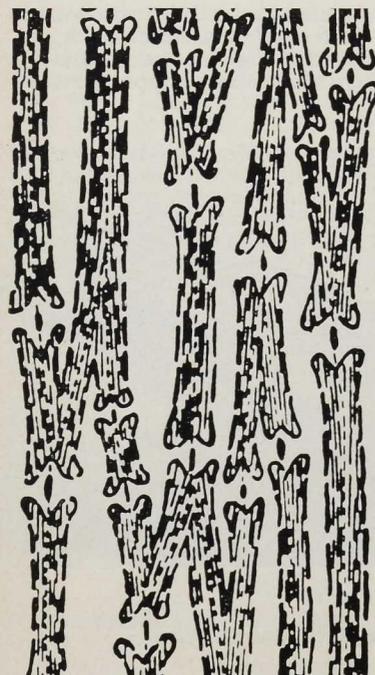


Abb. 3

Zellverband des Holzes schematisch (nach Stamm), bestehend aus Zellwänden, Zellhohlräumen und ihren Verbindungselementen, den Hoftüpfel.

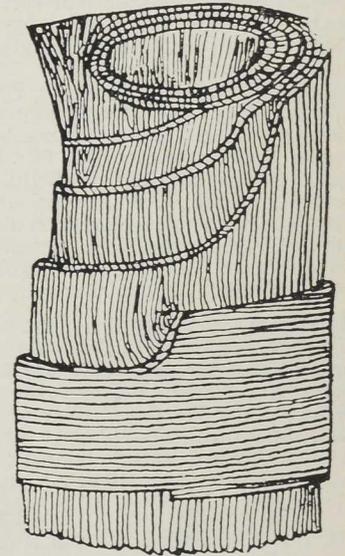
(Das eingetragene Maß beträgt einige Hundertstel Millimeter.)

Abb. 4

Abschnitt einer Zelle mit schichtweise aufgebauter Wand.

Die Dicke der Schichten mißt einige Zehntausendstel Millimeter.

Schematische Darstellung



glykole, Alaun, die meisten physikalisch durch Verdunsten des Lösungsmittel oder durch Aufnahme des Luftsauerstoffes trocknende Lacke).

2. Einführen einer Flüssigkeit, die zu einem Festkörper erstarrt, entweder als flüssiger, monomerer Kunststoff, der mittels Katalysator polymerisiert oder polykondensiert (Styrol oder Acrylsäureester mit Peroxyden, Phenol- und Harnstoff-Formaldehydharze, Polyester, Epoxydharze) oder als flüssiger monomerer Kunststoff, der mittels energiereicher Gammastrahlen polymerisiert wird (Acryl- und Methacrylsäureester, z. B. mit Co-60 Strahlenquelle).

3. Einführung eines gasförmigen Körpers, der entweder mit Katalysatoren oder mittels Gammastrahlen polymerisiert werden könnte. Diese Möglichkeit ist noch im Versuchsstadium. Sie bedingt auf jeden Fall die Anwendung hoher Drucke, evtl. erhöhter Temperatur.

Es kommt nun offenbar darauf an, ein Festigungsmittel zu wählen, das vollständig in das Hohlraumsystem des Holzes eindringen kann. Ob ein Festigungsmittel das kann, hängt im wesentlichen von der Größe und der Form seiner Moleküle ab. Eine einfache mechanische Festigung durch Ausfüllen der größeren Hohlräume im Holz kann mit einer großen Auswahl von Natur- und Kunststoffen erzielt werden. Bei einigermaßen klimatisierter Aufbewahrung wird es in der Praxis in den meisten Fällen gut gehen. Sobald aber unsere Bemühungen auf eine totale Festigung und Dimensionsstabilisierung unter ungünstigen Klimabedingungen abzielen, werden nur noch einige Festigungsmittel verbleiben.

Kunstharze sind Polymere, d. h. sie sind aufgebaut aus einfachen Bausteinen, die kettenförmig aneinander gereiht sein können. Die Zahl der sich wiederholenden Einheiten heißt Polymerisationsgrad. Das Gewicht eines so zusammengesetzten Moleküls heißt Molekulargewicht. Beide Begriffe geben uns eine Vorstellung von der Größe eines Polymermoleküls. Neben den linearen, fadenförmigen Polymermolekülen gibt es auch solche, die längs der Kette in regelmäßigen Abständen Verzweigungen gebildet haben, und solche, die als ganze Moleküle untereinander noch Querverbindungen eingehen; sie vernetzen bzw. sie härten. In diesem Falle sind sie auch nicht mehr löslich, sondern höchstens in gewissen Lösungsmitteln quellbar. Ebenfalls nur quellbar sind die frei beweglichen, linearen oder verzweigten Fadenmoleküle mit sehr hohem Polymerisationsgrad. Solche Riesenmoleküle haben nämlich die Tendenz, sich unter Bildung von „Paketen“ eng aneinanderzulagern, so daß die Lösungsmittel nur schwer zwischen die einzelnen Ketten eindringen können. Sie bilden ein Gel, aber keine Lösung mehr, in der die Moleküle frei beweglich sind. Die Polymere mit mittlerem und niedrigem Polymerisationsgrad lassen sich zunehmend leichter lösen.

Es zeigt sich nun, daß die meisten Wachse und Harze natürlichen Ursprungs durchschnittlich kleinere Polymerisationsgrade aufweisen als Kunstwaxe und Kunstharze, die sonst ähnliche Eigenschaften haben und daher als Stellvertreter für die ersteren gebraucht werden. Beispiel: natürliches Paraffin mit einem Schmelzpunkt zwischen 52 und 65° C hat einen Polymerisationsgrad von ungefähr 17 bis 35, was Molekulargewichte von 250 bis 500 ergibt. Künstliche Paraffine können bei 130° Schmelzpunkt bereits Polymerisationsgrade von 500 bzw. Molekulargewichte bis 7 000 erreichen. Weitere Beispiele sind in der Tabelle II zusammengestellt.

Man hat nun weiter festgestellt, daß Polyäthylenglykole mit einem Polymerisationsgrad bis 6, entsprechend einem Molekulargewicht bis etwa 400, noch einigermaßen vollständig in das submikroskopische Hohlraumsystem des Holzes einzudringen vermögen. Mit ihnen behandelte Würfel aus Eiche und Esche blieben in ihren Dimensionen vollständig stabil. Polyglykole höheren Polymerisationsgrades vermögen nicht mehr vollständig einzudringen. Harze und Wachse natürlichen Ursprungs haben die größere Chance, eine ausreichende Dimensionsstabilisierung zu erreichen als ihre künstlichen Vertreter. Man sieht auch ohne weiteres ein, warum die Cellulose-derivate, Acetylzellulose, Methylzellulose, schlechtes Eindringvermögen zeigen. Sie haben Polymerisationsgrade von 200 bis 300, ihr Grundbaustein ist an sich schon ein großes Molekül. Wenn unsere Bemühungen auf eine totale Festigung hinielen, müssen wir entweder mit den niedermolekularen Naturwachsen und -harzen, den niedermolekularen Polyglykolen, den niedermolekularen Polyvinylacetaten auszukommen suchen oder versuchen, den hochmolekularen Festkörper an Ort und Stelle im Innern des Holzes aus den Grundbausteinen, den eindringfähigen Monomeren, durch Polymerisation zu erzeugen. Dafür gibt es bereits praktisch anwendbare Möglichkeiten. Einige Firmen bringen heute Methacrylharze heraus, die nach Zumischen geeigneter Härter und Katalysatoren bei normaler Temperatur, vorzugsweise bei Anwendung von Unterdruck, in das Holz eindringen und dort bei leichtem Erwärmen zum starren Festkörper aushärten. Ein anderes Verfahren verläuft folgendermaßen: Holz wird mit monomerem Methylmethacrylat ohne Katalysatorzusatz durchtränkt und anschließend der Strahlung einer Kobalt-60-Quelle ausgesetzt. Die Strahlungsmenge betrug 5 Mrad bei einer Strahlungs-

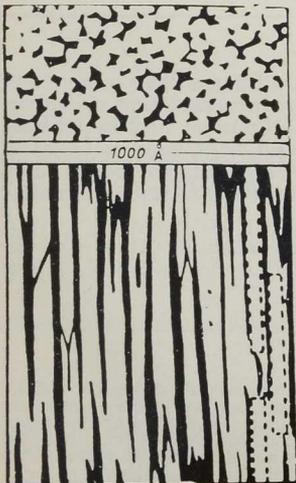
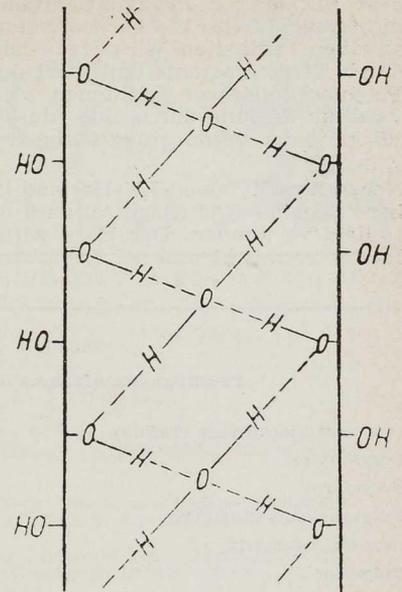


Abb. 5
Schema des interzellularen Hohlraumsystems (nach Frey-Wyssling)
oben Querschnitt,
unten Längsschnitt durch einen Teil der Zellwandstruktur.

Abb. 6
Schematische Darstellung von zwei Kettenmolekülen der Zellulose mit den für das Quellen und Schwinden verantwortlichen Hydroxylgruppen.
Zwischen den Ketten befinden sich absorbierte Wassermoleküle.
Das eingetragene Maß entspricht einigen Angström (1 Angström = 1 Zehnmillionstel Millimeter).



intensität von 0,1 Mrad/h. Durch dieses Verfahren hat man eine Festigung und eine hundertprozentige Dimensionsstabilisierung erreichen können. Da es sich um eine Gammastrahlung handelt, wird das Holz natürlich nicht radioaktiv.

Russische Autoren haben ein Verfahren ausgearbeitet, das in Wasser, Aceton oder Alkohol lösliche Ausgangsstoffe für die Bildung von Harnstoff- oder Melaminformaldehydharzen im Holz benutzt. Es wird am zentralen Restaurierungsinstitut in Moskau mit Erfolg für die Konservierung von Holzskulpturen und für archäologische Holzfunde angewendet.

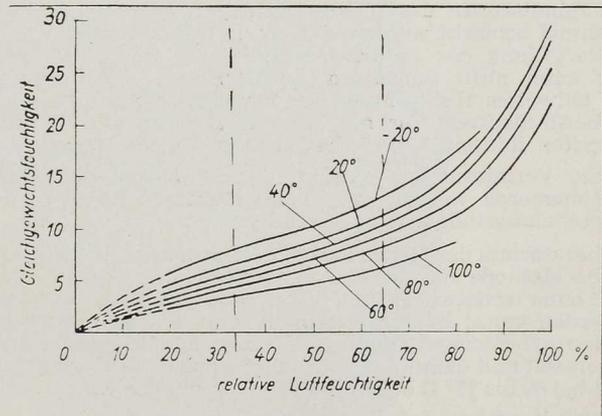


Abb. 7

Sorptionskurven für Holz

innerhalb des durch gestrichelte Linien abgegrenzten mittleren Bildteiles ist die Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit mit den geringsten Formänderungen verbunden.

Schlußfolgerungen: In der Praxis wird der Restaurator — vorausgesetzt, daß die klimatischen Aufbewahrungsbedingungen nicht extrem sind — je nach den übrigen Erfordernissen des Gegenstandes (z. B. Einfluß des Lösungsmittels auf die Polychromie, Kosten, Einrichtungen, Notwendigkeit ambulanter Behandlung usw.) zwischen einer großen Zahl von Festigungsmitteln wählen können. In klimatisch extremen Fällen bleiben ihm für ungefaßtes Holz die im Anhang beschriebenen Möglichkeiten. Bei gefaßten Holzbildwerken dürfen die beschriebenen Methoden nicht ohne weiteres angewendet werden. Sowohl die Lösungsmittel als auch die Monomeren können Farbbindemittel auf Öl- oder Öl-Harz-Basis auflösen. Dagegen bilden Leimungen der Holzoberfläche, die vor dem Auftrag der Grundierung durch den Faßmaler vorgenommen wurden, und leimegebundene Grundierungen eine Sperrschicht zwischen dem an einer ungefaßten Stelle in das Holzinnere eingeführten Festigungsmittel und der außen liegenden Farbschicht. Die Sperrwirkung hängt natürlich von der Dichtigkeit der Leimung ab und ist zudem zeitlich begrenzt. Am sichersten arbeitet man in solchen Fällen mit Xylamon-LX-Härtend

oder mit andern Festigungsmitteln, die als Lösungsmittel nicht aromatische Kohlenwasserstoffe (Sangajol, Terpentinersatz etc.) enthalten. Wir pflegen daher Xylamon-LX-Härtend durch Terpentinersatz und nicht durch Trichloräthylen oder Perchloräthylen zu verdünnen. Als zusätzliche Maßnahme wird die Fassung durch eine Alu-Folie abgedeckt, damit die Wirkung der Verdunstungsfläche reduziert wird.

Anhang:

Neben dem Xylamon-LX-Härtend läßt sich das Methacrylat-harz Degalan S 85 (Degussa) nach den Vorschriften des Herstellers verwenden. Das Harz wird mit dem mitgelieferten Härter vermischt und bei Raumtemperatur in das Holz ein-

(bezogen auf das Gewicht von Formaldehyd und Harnstoff) zugegeben als Katalysator; das Holz wird unverzüglich damit behandelt durch Eintauchen oder Bestreichen, solange es aufzunehmen vermag. Die Kondensation des Harzes wird mit der Zugabe des Katalysators eingeleitet; das damit ausgelöste Molekülwachstum erschwert bei jeder folgenden Tränkung das Eindringen. Man setzt daher den Katalysator zweckmäßigerweise unmittelbar vor der Tränkung und nur die für einen Tränkungsgang erforderliche Portion Harzlösung zu. Nach drei bis fünf Stunden ist die katalysierte Lösung nicht mehr genügend eindringfähig. Nach völliger Tränkung (Verbrauch je nach Holzart 300 bis 500 g Harzlösung pro kg Holz) überläßt man das Holz während zwei bis drei Tagen bei Raumtemperatur der Trocknung. Durch das verdunstete Lösungsmittel ist im Holz wieder Platz freigeworden, den man durch weitere Tränkungen in derselben Weise füllt. Die verbrauchte Harzlösung wird jedesmal etwa auf die Hälfte absinken.

Anstelle des Harnstoffes kann man auch 32 Gewichtsteile Melamin ebenfalls in zwei Portionen wie oben, jedoch bei einer Temperatur von 70 bis 80° C, verwenden bei sonst gleichbleibendem Verfahren.

Bei schlecht aufnehmendem Holz kann man die Harzlösung vor der Tränkung mit Alkohol weiter verdünnen; das Verhältnis Harz zu Lösungsmittel soll aber das Verhältnis 1:3 nicht überschreiten. Anstelle von Alkohol kann auch Aceton oder, wenn es ein bestimmter Fall erfordern sollte, Wasser oder das Gemisch aller drei verwendet werden.

Epoxydharze (Araldit) eignen sich für eine vollständige Durchtränkung des Holzes nicht. Schnitzelemente, Flachreliefs, die in einer Dimension dünn sind, können hingegen mit Araldit Laminierharz kombiniert mit Reaktivverdünner in dem für das Eindringen oder Füllen günstigen Fall starker Verwurmung sehr gut gebraucht werden. Richtrezeptur: Araldit Laminierharz 556:150 Gewichtsteile, Araldit RD/1; 22,5 Gewichtsteile, Härter 956:44 Gewichtsteile. Arbeitsgang: 1. Vortränken mit obiger Rezeptur verdünnt mit der halben Gewichtsmenge Kombiverdünner; 2. Vortränken mit obiger Rezeptur verdünnt mit einem Drittel der Gewichtsmenge Kombiverdünner; 3. Tränken mit unverdünnter Rezeptur. Nach

Tabelle I

Feuchtigkeitsaufnahme dünner Filme

	mg/cm ²
Polytetrafluoräthylen (Teflon)	0,00001
Polyäthylen	0,0001
Polystyrol	0,06
Polyvinylchlorid (PVC)	~ 0,1
dto. weichgemacht	~ 0,2-0,3
Polyester	~ 0,4
Polymethylmethacrylat	~ 0,5
Polyamid	0,3-1,3
Polyvinylacetat (Mowilith)	2,5-3,0
Celluloseacetat (Acetycellulose)	2,5-3,0
Polyvinylbutyral (Mowital)	2,5-3,0
N-Hydroxymethyl-Nylon (Calaton)	~ 6,0-10,0

gelassen. Für eine vollständige Füllung sind ein evakuierbarer Füllbehälter, eine Vakuumpumpe und eine Wärmekammer erforderlich. Das vom Holz aufgenommene Harz wird während 4 bis 5 Stunden bei 60° C gehärtet. Die Härtezeit kann durch Inhaltsstoffe des Holzes verlängert werden. Es muß hier einmal bemerkt werden, daß jegliche Holzimprägnierung eine Vertiefung der natürlichen Holzfarbe bewirkt. Dieser Effekt kann nicht umgangen, höchstens gemildert werden durch teilweises Herauslösen des Imprägnierungsmittels aus der Oberflächenebene. Die mit Degalan S 85 erzielten Druckfestigkeiten sind ein Mehrfaches des ungefüllten Holzes.

Ähnliche Verfahren wie auch die Strahlungspolymerisation von Monomeren werden in großem Maßstabe heute in der Holzveredelungsindustrie angewendet.

Im Laboratorium der Hermitage in Leningrad hat I. Nogid eine einfache Methode für die Naßholzkonservierung ausgearbeitet, die ohne weiteres für ungefaßtes trockenes Holz angewendet werden kann: Reines Butylmethacrylat wird mit 0,3 bis 1 % Benzoyl-Peroxyd (Vorsicht! Feuergefährlich und explosiv!) versetzt und damit das Holz durchtränkt. Die Aushärtung erfolgt bei 65 bis 75° C bei 8 bis 9 Stunden mindestens.

Man muß beachten, daß Kunststoffmonomere stets kühl, vor Licht und Verunreinigungen geschützt gelagert werden müssen. Verunreinigungen können je nach ihrer Art den Polymerisationsprozeß beschleunigen, bereits im Lagergefäß bewirken oder verunmöglichen. Die Lagerfähigkeit ist in der Regel beschränkt. Je frischer die verwendete Ware ist, desto niedriger sind die Molekulargewichte und desto besser ist die Eindringfähigkeit.

Im Zentralen Konservierungsinstitut in Moskau haben Trostjanskaja, Tomschewitsch und Sorokina folgendes, etwas aufwendigeres Verfahren für die Festigung von Holzbildwerken ausgearbeitet: In einem Glasgefäß werden 100 Gewichtsteile Formaldehyd (37- bis 40%ig in Alkohol) mit Ammoniak tropfenweise versetzt, bis die Lösung neutral reagiert. In diese Lösung werden 46 Gewichtsteile Harnstoff in zwei Portionen eingetragen und pro Portion 30 Minuten im Wasserbade bei 25 bis 30° C bis zur völligen Lösung gerührt. Die Arbeit muß unter einem Abzug gemacht werden. Der verdampfte Alkohol wird ergänzt. Nun werden zwei Prozent Ammoniumchlorid

Tabelle II

Polymerisationsgrad und mittleres Molekulargewicht einiger Natur- und Kunststoffe

	Polymerisationsgrad	Mittl. Molekulargewicht										
Paraffine, nat.	17 — 35	250 — 500										
Paraffine, künstl.	— 500	— 7 000										
Dammar		400 — 4 000										
Cellulose	<table border="0"> <tr> <td rowspan="3" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td>acetat</td> <td rowspan="3" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="3" style="vertical-align: middle;">200 — 300</td> <td rowspan="3" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td>40 000 —</td> </tr> <tr> <td>nitrat</td> <td>75 000 —</td> </tr> <tr> <td>Methyl-</td> <td></td> </tr> </table>	}	acetat	}	200 — 300	}	40 000 —	nitrat	75 000 —	Methyl-		
}	acetat		}				200 — 300	}	40 000 —			
	nitrat								75 000 —			
	Methyl-											
Polyäthylenglycole	3 — 200	200 — 12 000										
Polyvinylalkohol	200 — 2 600	8 800 — 140 000										
Polyvinylacetat	150 — 7 000	12 000 — 600 000										
Methylmethacrylat (monomer)	1	100										
n-Butylmethacrylat	1	142										

unseren Beobachtungen ist die Aralditmasse nicht in der Lage, durch die Grundierung in die Polimentvergoldung einzudringen. Obwohl Araldit gegenüber natürlichen und künstlichen Wachsen bedeutend weniger Schwund zeigt, kann es bei großflächigen Schnittteilen geringe Verwölbungen hervorrufen, die man aber durch entsprechende Arbeitstechnik vermeiden kann.

Grundsätzlich sind die Epoxydharze eher als Kleb- und Ergründungsmassen geeignet.