

## Einleitung

In den letzten Jahren hat Funori, ein in Japan aus Rotalgen der Gattung *Gloio-peltis* hergestelltes und dort traditionell in der Papierrestaurierung verwendetes Festigungsmittel das Interesse von Fachleuten geweckt, da es sich besonders gut zur Konsolidierung von matten puderigen Malschichten eignen soll. So wurde Funori auch 1991 im Gemäldeatelier des Schweizerischen Landesmuseums in Festigungsversuche am monumentalen Wandbild »Die Schweiz das Ferienland der Völker« von Hans Erni, mit einbezogen. 1996 wurden diese Versuche vertieft. Die wiederum positiven Resultate, vor allem im Bezug auf die optischen Eigenschaften des Algenpräparates einerseits, fehlende Kenntnisse zu weiteren wichtigen Eigenschaften wie chemische und physikalische Stabilität, oder Anfälligkeit auf Mikroorganismen, andererseits führten zur Formulierung des Forschungsprojektes »Interdisziplinäre Grundlagenforschung zur Konsolidierung matter Malerei«. Dieses wurde unter dem Patronat von Prof. Georg Mörsch vom Institut für Denkmalpflege der ETH Zürich beim Schweizerischen Nationalfond eingereicht und bewilligt. Für die Durchführung der technologischen Prüfungen konnte die EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) gewonnen werden. Ziel des Forschungsprojektes war es, die Eigenschaften von Funori besser kennen zu lernen, um so die Möglichkeiten und Risiken seines Einsatzes als Festigungsmittels für matte Malerei auf Trägern wie Holz und Leinwand besser abschätzen zu können.

Funori ist ein Naturprodukt und als solches in unterschiedlicher Qualität erhältlich. Dieser Umstand führte bereits im ersten Projektteil zu Versuchen, das Algenmaterial durch Reinigungsprozesse zu vereinheitlichen. Die Resultate waren so vielversprechend, dass dank der grosszügigen Unterstützung der Gebert Rüt Stiftung in einem Folgeprojekt dieses Reinigungsverfahren weiterentwickelt und so ein annähernd standardisiertes Produkt (soweit dies ausgehend von natürlichen Rohstoffen überhaupt möglich ist) auf Algenbasis hergestellt, technologisch geprüft und an ausgewählten Objekten getestet werden kann (Projektdauer bis Ende 2002).

Im Folgenden wird der Forschungsbericht des Nationalfondprojektes mit Schwerpunkt auf dem traditionell verwendeten Funori zusammengefasst, sowie die Resultate der laufenden Untersuchung des neuen Produktes besprochen.

## Matte Malerei

In verschiedenen Techniken ausgeführt finden wir matte Malerei in allen Epochen und Kulturen, von der prähistorischen Höhlenmalerei bis zu den Kreidebeschriftungen von Joseph Beuys.

Generell ist der Bindemittelanteil matter Malerei im Verhältnis zum Pigmentanteil so gering, dass das meiste Licht diffus gestreut wird und die Oberfläche darum matt und heller als eine mit Bindemittel gesättigte Malschicht erscheint [9]. Es wird von einer hohen Pigmentvolumenkonzentration gesprochen. Die Räume zwischen den Pigmentpartikeln sind nicht vollständig mit Bindemittel gefüllt, dieses bildet nur gerade Brücken zwischen den Pigmentpartikeln [2]. So gebundene Malschichten sind naturgemäss sehr empfindlich auf mechanische Belastung. Zudem verlieren die Pigmentpartikel durch den alterungsbedingten Abbau des Bindemittels die Haftung, die Farbschichten pudern und kreiben. Durch Spannungsunterschiede im Schichtgefüge der Malerei, zwischen verschiedenen Malschichten oder zwischen Malschicht und Träger, können sich auch ganze Schollen lösen (Abb. 1). Oft treten beide Schadensphänomene gleichzeitig auf.

Die Festigung matter Malerei ist besonders problematisch, da sie sehr empfindlich auf Festigungsmittel reagieren kann. Flecken, Ränder, Schleier, ein Abdunkeln der Farbe oder ungewollter Glanz beeinträchtigen die Ästhetik des Objektes und verändern seinen ursprünglichen Ausdruck.

# FUNORI, EIN JAPANISCHES FESTIGUNGSMITTEL FÜR MATTE MALEREI

**Françoise Michel,  
Thomas Geiger,  
Anita Reichlin,  
Geneviève Teoh-Sapkota**

1 Pudermde und dachförmig aufstehende, matte Malschicht





2 Bemalte Holzmaske der Punu, Gabun, (Völkerkundemuseum Zürich)

3 Funori, Kalligraphie in Kana-Schrift von Geneviève Teoh



Mit dieser Problematik sehen sich verschiedene Gebiete der Konservierung und Restaurierung konfrontiert. Sei es bei der Konservierung von Architekturausstattung, in der Gemälde-, Textil- und Papierrestaurierung oder bei der Konservierung ethnologischer Objekte (Abb. 2).

In den letzten 20 Jahren ist Funori ausserhalb Japans auf wachsendes Interesse gestossen. Dies zeigt sich in der steigenden Zahl von Forschungsprojekten vor allem in der Papierrestaurierung, die sich mit dem Thema beschäftigen [4, 11, 12, 13, 21].

Aus dem Chinesischen abgeleitet bedeuten die drei Schriftzeichen von Funori, Meer (Fu), Moos (no) und wohlriechend (ri) (Abb. 3).

Bevor wir auf unsere Untersuchung eingehen, möchten wir einige Informationen zum Lebensraum der Algen, ihrer Gewinnung und der chemischen Struktur zusammenfassen.

### Lebensraum der Meeresalgen

Allgemein formuliert sind Algen stark voneinander abweichende, photosynthetisierende Pflanzen ohne Wurzeln, ohne beblätterte Stängel und ohne Leitbündel. Sie sind anatomisch und morphologisch weniger differenziert als an der Luft lebende Pflanzen [8]. Der Lebensraum der Meeresalgen wird in zwei Hauptlebensräume unterteilt. Das Benthos ist der Lebensraum der bodenbewohnenden Organismen, das Pelagial der Lebensraum des freien Wassers. Die Bewohner des Benthals werden als Benthos, die des Pelagials als Pelagos bezeichnet. Im Benthos unterscheidet man Zoo- und

Phytobenthos, und innerhalb des letzteren, vielzellige Algen (Makroalgen) und Seegräser als Makrophytobenthos und einzellige Algen (Mikroalgen) als Mikrophytobenthos. Die Makroalgen sind im Benthos mit etwa 8000 Arten bis zu einer maximalen Tiefe von 270 m zu finden.

Der von Pflanzen besiedelte Raum wird als Phytal oder euphotische Zone bezeichnet. Damit ist die für den photosynthetischen Lichtanspruch der Algen genügend durchlichtete, obere Zone der Meere gemeint.

Das Phytal wird vertikal in drei Zonen gegliedert: das Supralitoral, die Spritz- und Gischtwasserzone, das Eulitoral, die Gezeitenzone mit periodischem Wechsel zwischen Trockenliegen und Überflutung und das Sublitoral, das ständig unter Wasser ist, es reicht bis zum untersten Algenvorkommen (Abb. 4) [16].

Die Algen werden in 15 Klassen unterteilt. Eine wichtige Rolle bei der Einteilung spielen die Farbe, die chemische Zusammensetzung der Zellwände und die Art des Lebenszyklus. *Gloiopeltis*, die Alge, die zu Funori verarbeitet wird, gehört zur Klasse der Rotalgen.

### Rotalgen (*Rhodophyceae*)

Die Rotalgen haben einen verhältnismässig kleinen Lebensraum, da sie auf den schmalen felsigen Küstensaum der Weltmeere angewiesen sind. Selbst an diesen Stellen wird ihre Verbreitung durch den Trübungsgrad des Wassers weiter beschränkt, denn das Wasser muss ausreichend Licht zur Photosynthese durchlassen [16].

Die rote Farbe der Rotalgen wird durch das akzessorische Pigment Phycoerythrin (gibt die aufgenommene Lichtenergie für die Photosynthese an das Chlorophyll weiter) verursacht. Zusätzlich kommt auch das blaue Pigment Phycocyanin vor. Die Pigmente sind eng miteinander verwandt und werden unter dem Namen Phycobiliproteide zusammengefasst. Da bei den meisten Rotalgen das Phycoerythrin überwiegt, sind sie immer rot. Bei einigen Arten kann die Farbe jedoch in Abhängigkeit vom Mengenverhältnis der beiden Farbstoffe variieren. Diese verschiebt sich je nachdem zur Verfügung stehenden Licht von dunkelrot im tiefen Wasser, über blauviolett zu hellbraun bis grün, bei Pflanzen, die am direkten Son-

nenlicht wachsen, da in ihnen das Chlorophyll a und die Carotinoide nicht mehr durch Phycobiliproteide maskiert werden [16].

Prinzipiell sind Algenzellwände aus fibrillären und amorphen Strukturen aufgebaut. Bei den meisten Algen ist aber keine klare Differenzierung möglich. Die Fibrillenstruktur besteht u.a. aus Cellulose, Mannanen oder Xylanan, die wasserunlöslich sind. Sie stellen das Skelett der Zellwand dar und geben dieser eine gewisse Festigkeit. Der amorphe Teil der Zellwand besteht überwiegend aus Schleim, der bei vielen Rotalgen aus Galactanen besteht (Polymeren von Galactose mit Sulfatestergruppen). Diese Polysaccharide sind in heißem Wasser löslich und bilden die Matrix, die das fibrilläre Gerüst umgibt. Agar und Carrageen gehören neben Furcelleran und Porphyran zu den wichtigsten, aber auch der aus *Gloiopeltis* gewonnene Schleim, das Funoran gehört zu dieser Gruppe [9]. Neben den Farbstoffen und den sulfonierten Polysacchariden sind im Rotalgenschleim auch chemische Komponenten wie Lipide, Fettsäuren [10], Proteine [21, 22] und Salze vorhanden.

#### *Gloiopeltis*

Taxonomie

Abteilung: *Rhodophyta*  
 Klasse: *Rhodophyceae*  
 Unterklasse: *Florideophycidea*  
 Ordnung: *Crytonemiales*  
 Familie: *Endocladaceae*  
 Gattung: *Gloiopeltis*  
 Art: *G. cervicornis*, *G. coliformis*, *G. complanata*, *G. furcata*,  
*G. intricata*, *G. tenax*, [16, 19]

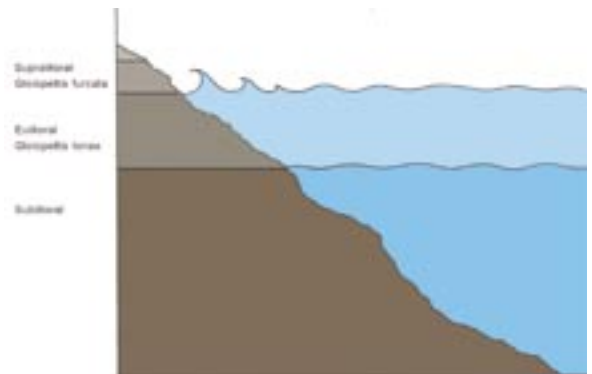
Nach Chapman [1] werden *G. coliformis* und *G. intricata* heute als Formen der Spezies *G. furcata* betrachtet.

#### *Gloiopeltis furcata* (trocken)

Die Thalli sind 4-7 cm lang, röhrenförmig, bis zu 5 mm dick, mit Luft gefüllt und an der Basis verengt. Die Alge verzweigt sich unregelmäßig in alle Richtungen, sie endet in stumpfen oder schmalen Spitzen. Oft besteht sie aber auch nur aus einer einzelnen Röhre. Sie ist rotbräunlich bis blaurot (Abb. 5). *Gloiopeltis furcata* ist eine typische Gezeitenzonenalge Japans, Südkinas und der Nordpazifikküste Amerikas. Sie wächst auf Steinen im oberen Eulitoral, nahe der oberen Gezeitengrenze und der Spritzwasserzone [16] (Abb. 7). Sie erreicht ihre Reife im Frühling bis Frühsommer (Abb. 8)[25]. In Japan ist sie unter dem Namen Funori, oder Fukoro-Funori bekannt, in China unter der Bezeichnung Hailuo [19].

#### *Gloiopeltis tenax* (trocken)

Die Thalli sind etwa 5 cm lang, hart, sehr schmal, höchstens 1mm dick und stark verästelt. Sie verzüngen sich nach oben und enden in scharfen Spitzen, die oft nach unten gekrümmt sind. Die Alge ist dunkel- bis blaurot, manchmal fast schwarz (Abb. 6). *Gloiopeltis tenax* wächst



4 Vertikale Aufteilung des Phytals



5 *Gloiopeltis furcata*

6 *Gloiopeltis tenax*



7 *Gloiopeltis furcata* wächst auf Felsen in der Spritzwasserzone [25]

8 Reife *Gloiopeltis furcata* [25]



auf Steinen an der unteren Gezeitengrenze und wird in Japan als Ma-Funori oder Yanagi-Funori [19] bezeichnet.

## Chemische Struktur

Rotalgen mit Agar als Bestandteil werden den Agarophyten zugeteilt. Wird Carrageen gefunden, so die Alge den Carrageenophyten zugeordnet. Eine Reihe von Rotalgen beinhalten gleichzeitig agaroiden und carrageenoiden Polysaccharidstrukturen; zu diesen zählt auch die *Gloiopeltis*-Familie. Bis heute ist die Aufklärung der genauen Struktur, der in Wasser löslichen Galactane, Gegenstand von Forschungsarbeiten. Aus der *Gloiopeltis*-Familie wurden *Gloiopeltis furcata*, *Gloiopeltis cervicornis*, *Gloiopeltis complanata*, und *Gloiopeltis furcata* Post. et Ruprecht untersucht [6, 7, 23, 24]. Exemplarisch sei an dieser Stelle auf die Untersuchungen an *Gloiopeltis furcata* Post. et Ruprecht [24] eingegangen.

Die Rotalge wurde an der Küste Shitaru in der Nähe der Stadt Shimoda, Präfektur Shizuoka, geerntet, sortiert, mit frischem Wasser gewaschen und getrocknet. Für die Extraktion der wässrigen Bestandteile der Alge, wurde diese mit einem Mixer zerkleinert und in Wasser gekocht.

Unlösliche Reste wurden durch Zentrifugation entfernt, das gelöste Polysaccharid mittels Cetylpyridiniumchlorid-Lösung gefällt und in nächsten Schritten mittels KCl-Lösung fraktioniert gelöst. Die Aufspaltung der Polysaccharide in die Grundbausteine erfolgte durch partielle Hydrolyse und Methanolyse. Die Analysen ergaben, dass das Hauptpolysaccharid aus der regelmässigen Wiederholungseinheit  $[\rightarrow 3)\beta\text{-D-Galactose-6-sulfat-(1}\rightarrow 4)3,6\text{-Anhydro-L-Galactose(1}\rightarrow)]_n$ , eine ideale 6-sulfonierte Agarose, besteht (Abb. 9). Diese wird auch in den Rotalgen *Gloiopeltis furcata* und *Gloiopeltis complanata* gefunden [6, 7, 23]. Damit sollten eigentlich die Rotalgen der *Gloiopeltis*-Familie den Agarophyten zugeordnet werden. Weitere Fraktionen aber, so ergaben Untersuchungen [24], enthalten neben sulfonierten agaroiden auch carrageenoiden Strukturen (Abb. 9c). Es handelt sich also um ein vielfältiges Gemisch von sulfonierten Polysacchariden.

Leider ist aus der Literatur nicht bekannt, ob die Rotalge *Gloiopeltis tenax* bzw. deren Polysaccharide weiter isoliert und analysiert wurden.

In den Infrarot-Spektren der extrahierten Polysaccharide aus *Gloiopeltis tenax* und *Gloiopeltis furcata* (Abb. 10) sind analoge Banden zu finden. So absorbieren die 3,6-Anhydrogalactose-Reste im Bereich von  $933\text{ cm}^{-1}$ , die Sulfatgruppen absorbieren bei  $820\text{ cm}^{-1}$  und das 2- und 6-sulfonierte Agar bei  $891\text{ cm}^{-1}$ . Es kann also davon ausgegangen werden, dass es sich bei dem wässrigen Extrakt der *Gloiopeltis tenax* um analoge Polysaccharide wie bei *Gloiopeltis furcata* handelt.

## Algengewinnung

In Asien, vor allem in China, Korea und Japan, wurden Algen seit frühester Zeit zu medizinischen Zwecken, aber vor allem als Lebensmittel verwendet [26, 27]. Sie nehmen bis heute einen wichtigen Stellenwert auf dem Speisezettel dieser Länder ein.

In Europa und Nordamerika wurden Algen weit weniger genutzt. Angeschwemmtes Algenmaterial wurde z.B. an den Küsten Schottlands, Norwegens und Finnlands sowie auf den Orkneys und Hebriden als Tierfutter und Dünger verwendet. Wirtschaftliche Bedeutung erlangte die Algengewinnung aber erst im 17. Jahrhundert, als Algen zu Pottasche und Soda verarbeitet wurden, oder in der Mitte des 19. Jahrhundert durch die Entdeckung des Jods in Algen und seiner positiven Wirkung bei der Kropfbekämpfung.

Heute werden laut Tseng [26] weltweit 99 Gattungen mit 457 Spezies von Grün, Braun- und Rotalgen genutzt. Sie finden als Nahrungsmittel, Tiernahrung und Dünger Verwendung, oder werden zu medizinischen und kosmetischen Produkten verarbeitet. Davon werden aber nur 11 Gattungen mit weniger als 20 Spezies in einem kommerziell signifikanten Ausmass kultiviert. Dazu gehört auch die Gattung *Gloiopeltis*, das Ausgangsprodukt für Funori. Weltweit von Bedeutung sind heute die gelbildenden und viskosen Inhaltstoffe der Zellwände mariner Makroalgen, die als Phykokolloide bezeichnet werden [15]. Im einzelnen handelt es sich um die Stoffgruppen von Agar und Carrageenan der Rotalgen, sowie um die Alginate der Braunalgen.

## Anbau von Funori

In der Literatur wird zwar neben der Verwendung von *Gloiopeltis furcata* und *Gloiopeltis tenax* auch *Gloiopeltis complanata* für die Herstellung von Funori erwähnt. In keiner der Literaturstellen wird aber näher auf diese Art eingegangen. Wir beschränkten uns darum bei unseren Untersuchungen auf erstere. Im Gegensatz zu *Gloiopeltis tenax*, wächst *Gloiopeltis furcata* nahe der oberen Gezeitengrenze (Abb. 7). Der größere Teil der geernteten Menge wird von wild wachsenden Algen gewonnen. Zwischen 1973 und 1976 wurden in Japan jährlich zwischen 500-1000 Tonnen *Gloiopeltis* (es ist unklar, ob es sich dabei um *G. furcata*, *G. tenax* oder um beide handelt) geerntet [1].

Es gibt auch bei *Gloiopeltis furcata* Bemühungen, den Ertrag zu steigern. Bevor *Gloiopeltis furcata* im November zu wachsen beginnt, werden in China z. B. Muscheln und andere Algen von den Felsen geschabt. Nachdem die Flut die Felsen gespült hat, werden sie mit Kalk bespritzt um letzte unerwünschte Organismen zu entfernen und die Oberfläche für die Verankerung der Algensporen vorzubereiten. So behandelte Felsen werden von *Gloiopeltis* dicht überwachsen [26]. In Japan wächst *Gloiopeltis furcata* an allen Küsten, vor allem aber an solchen, die wärmeren Meeresströmungen ausgesetzt sind. Geerntet wird *Gloiopeltis* im Norden im Sommer und im Süden im Winter [1].

*Gloiopeltis tenax* wächst nahe der unteren Gezeitengrenze und ist in Japan weitgehend auf Hizen und Isushima beschränkt.

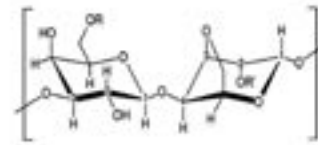
Mit Hilfe von großen Steinbrocken werden auch künstliche Algenfelder angelegt. Vor einer Flut im Frühling werden Algensporen auf den Felsen verteilt. 2-29% der Sporen setzen sich fest. Als Substrat eignen sich laut Chapman quarzithaltige Steine besonders. Bei der Beschreibung von künstlich angelegten *Gloiopeltis*-Kulturen, die mit Hilfe von langen Stangen oder mancherorts durch Taucher geerntet werden [21], muss es sich um *Gloiopeltis tenax* handeln.

Zur Verwendung von *Gloiopeltis furcata* und *Gloiopeltis tenax* als Lebensmittel, in der traditionellen chinesischen Medizin, westlichen Medizin, in Kosmetik, Farbindustrie, als Bau- und Klebstoffe und in der Restaurierung geben Tabelle 1 und Abbildung 11 Auskunft.

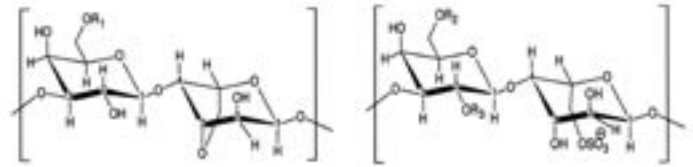
## Traditionelle Herstellung von Funori

Herr Masuda ist Spezialist für die Konservierung japanischer Malerei und Leiter der Abteilung Papier und Textil am Tokio National Research Institute of Cultural Properties. Er hat im Rahmen des Weiterbildungsprogramms von ICCROM Kurse in der Papierkonservierung erteilt und Funori, sowie andere japanische Konservierungsmaterialien in Europa vorgestellt. Er war so freundlich, uns neben vielen Auskünften auch eine Serie von Dia-Positiven aus den 80er Jahren zur Verfügung zu stellen. Sie dokumentieren den traditionellen Herstellungsprozess von Funori. Im folgenden eine Zusammenfassung seiner Informationen.

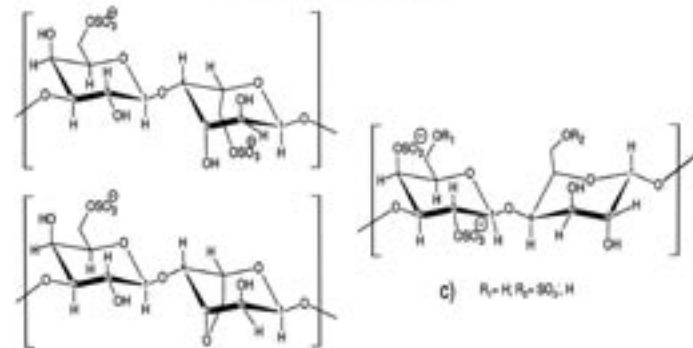
Heute wird Funori nur noch an den Küsten von Hokkaido (Norden) und Kyushu (Süden) angebaut. Die Ernte findet von Mai bis Juni statt. Anschließend wird die Alge in Kleinbetrieben weiterverarbeitet. Die Anzahl dieser, meist Familienbetriebe, ist in den letzten Jahren stark zurückgegangen.



a)  $R_1 = SO_3^-$ ,  $CH_2$ ,  $R_2 = SO_3^-$ ,  $CH_2$ ,  $H$



b)  $R_1 = SO_3^-$ ,  $CH_2$ ,  $R_2 = SO_3^-$ ,  $CH_2$ ,  $H$ ,  $R_3 = H$ ,  $SO_3^-$



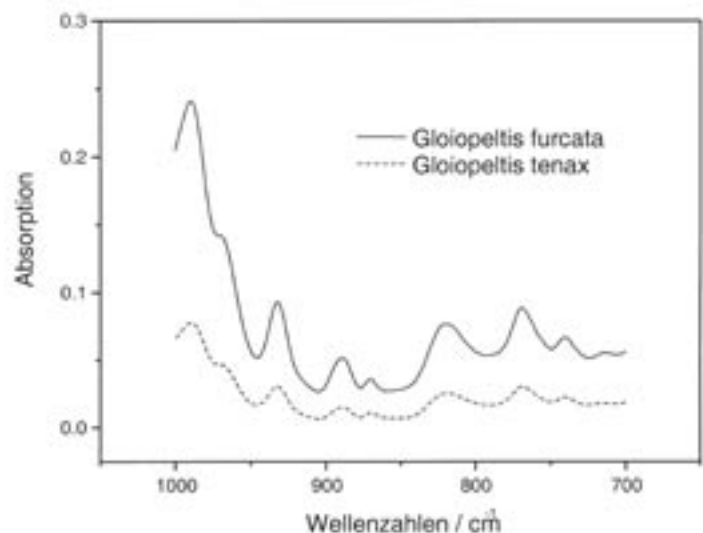
c)  $R_1 = H$ ,  $R_2 = SO_3^-$ ,  $H$

9 a Hauptpolysaccharid gefunden in *Gloiopeltis furcata*,

9 b Hauptpolysaccharid gefunden in *Gloiopeltis complanata*,

9 c agaroid und carragenoid Strukturen, die in *Gloiopeltis furcata* Post. et Ruprecht gefunden wurden.

10 ATR-Infrarotspektrum des Extraktes aus a) *Gloiopeltis tenax*, b) *Gloiopeltis furcata* 1000-700  $cm^{-1}$ , Auflösung 2 $cm^{-1}$ , Scans: 32



## Verwendung von *Gloiopeltis furcata* und *Gloiopeltis tenax*

<b>Lebensmittel</b>	Autor
Nährboden für Hefe	Sand & Glicksman [20]
Salat	Abb. 11
Bestandteil von Miso-Suppen	Patentschrift
Binder für japanische Buchweizennudeln	Patentschrift
<b>Traditionelle chinesische Medizin:</b>	Tseng 84 [27]
Kropf	Tseng 84 [27]
Husten	Tseng 84 [27]
Bronchitis	Tseng 84 [27]
Asthma	Tseng 84 [27]
Tuberkulose	Tseng 84 [27]
Magenleiden	Tseng 84 [27]
Haemorrhoiden	Tseng 84 [27]
Rheumatische Arthritis	Tseng 84 [27]
<b>Medizin</b>	
Diätfasern	Patentschrift
Kreislaufstörungen	Noda Jap.Patent Nr.JP 07330804
Tumorbehandlung	Noda Jap.Patent Nr.JP 07330804
Plaque-Hemmer in Kaugummi	Sato, J.Oral Sci. 1998 Tokyo
Zahnpasta	Saeki Jap.Patent Nr.JP08154585
Blutstillendes Mittel	Sand & Glicksman [20]
<b>Kosmetik</b>	
Verdicker für Haarfärbemittel	Sand & Glicksman [20]
Shampoo	Patentschrift
<b>Farbindustrie</b>	
Bindemittel für mineralische Farben	Sand & Glicksman [20]
Bindemittel für Schuhcreme	
Bindemittel für Porzellanfarben	Chapman [1]
<b>Baustoffe / Kleber</b>	
Binder für Sprengstoff	Sand & Glicksman [20]
Keramikglasuren	Hayashi.Jap.Patent Nr.JP55003815
Zuschlagstoff in Zement und Ton	Chapman [1]
Holzleim	Sand & Glicksman [20]
Verklebungen von Papier	Masuda [17]
Tapezierleim für die Lehmwände von Teezeremoniehäusern	Masuda [17]
Kleber für Vergoldungen auf Papier und Seide, für Kirikane, Schnittgolddekoration in der japanischen Kunst	Masuda [17], Winter [28]
<b>Weitere Anwendungen</b>	
Zum Stärken von Gewebe	Chapman [1]
<b>Konservierung / Restaurierung</b>	
Reinigung von Seidenkimonos	Utsuki (mündliche Auskunft)
Festigung von Malerei	Winter [28]
Verkleben von Seideergänzungen an Hängerollen	Meredith [18]
Facing	Masuda (mündliche Auskunft)
Verbesserung der Viskosität und Geschmeidigkeit von Stärke	Masuda [17]

Für das in der Konservierung verwendete *Funori* wird in der Regel *Ma-* bzw. *Yanagi-Funori* (*Gloiopeltis tenax*) verarbeitet. Es zeichnet sich durch besonders feine Verästelung der Alge aus.

Die Rohalge wird in Wasser gewaschen (Abb. 12) und während 30 Minuten mit einer wässrigen Natriumhydroxidlösung gebleicht. Dabei verliert sie ihre dunkelrote Farbe und ist nun hellgelblich (Abb. 13). Die Algen werden zweimal mit Wasser gespült. Anschließend wird das Algenmaterial auf in Wasser schwimmenden Sieben verteilt (Abb. 14). Als Sieb dienen in Holzrahmen gespannte Schilfmatten (Abb. 15). Zum Trocknen werden die *Funori*-Matten auf Reisstrohmatten gekippt, die im Hof an der Sonne ausgelegt sind (Abb. 16, 17). Um die *Funori*-Matten zu verdichten und den Bleichungsprozess durch die Sonne zu unterstützen, werden sie wiederholt mit Wasser besprenkelt. Später werden die Strohmatte mit dem *Funori* darauf bis zur vollständigen Trocknung vertikal gestapelt. Die getrockneten Matten werden vom Stroh gelöst und kommen gerollt, oder in Platten unterschiedlicher Größe geschnitten, auf den Markt (Abb. 18, 19).

Der ganze Verarbeitungsprozess findet im Sommer statt und dauert zwei bis drei Monate.

Das gebleichte und getrocknete *Funori* wird in Papiersäcken in trockener Umgebung aufbewahrt und ist so unbegrenzt haltbar.

Die Qualitätsschwankungen der gehandelten *Funori*-Produkte sind auch für japanische Restauratoren ein Problem und werden auf die unterschiedliche Sorgfalt in der Verarbeitung zurückgeführt. Ganz generell ist die Qualität von *Funori* aus alten Beständen wesentlich besser. Früher wurden die Algen zum Beispiel noch zusätzlich nach Feinheit der Verästelungen sortiert, dies geschieht heute nicht mehr.

## Traditionelle *Funori*-Lösung

Die aus der Literatur zusammengetragenen Rezepte variieren in den Konzentrationsangaben und in der Zubereitung beträchtlich. In der japanischen Literatur fehlen genaue Angaben zur Konzentration der Lösung gänzlich. Dies hat mit der japanischen Tradition des Lernens zu tun. Gelernt wird ganzheitlich, durch Beobachten und durch Übung. Die Ausbildung in einem Restaurierungsatelier dauert darum mindestens 10 Jahre. So ist auch das Ansetzen eines Leimes Erfahrungssache. Die Viskosität wird mit dem Auge und die Klebkraft mit dem Finger geprüft.

Gemeinsam sind aber allen Rezepten die folgenden Schritte: das gebleichte und getrocknete *Funori* wird eingeweicht, erwärmt und durch ein feines Gewebe gesiebt.

Mit dem Ziel, in den Versuchen ein möglichst einheitliches Produkt zu haben, wurden an den Algen verschiedene Reinigungsprozesse vorgenommen.

Hiroko Kariya [11] spült das eingeweichte Funori mehrmals, um den Chloridgehalt zu senken und eine weniger gelbe Lösung zu bekommen. Wir haben das Rezept nachgekocht. Die Lösung ist deutlich klarer und weniger gelb. Bei der Leitfähigkeitsmessung zeigt sich, dass die Ionenkonzentration um rund ein Drittel sinkt. Dabei empfiehlt es sich, das eingeweichte Funori bereits nach kurzer Zeit zu spülen, da Funori schnell zu einem sehr viskosen Schleim anquillt. Der Feststoffgehalt der gespülten Funori-Lösung ist entsprechend tiefer.

Um das Rezept für die Zubereitung einer Funori-Lösung mit optimaler Klebkraft zu eruieren, wurden Lösungen (1g Funori in 100ml deion. H<sub>2</sub>O, über Nacht eingeweicht) einerseits bei 30°C, 60°C und 90°C verschieden lang und andererseits bei unterschiedlichen Temperaturen während 30 Minuten erwärmt. Mit diesen Lösungen wurden konditionierte (23°C / 50% RF) Papierstreifen verklebt und mittels Zugversuchen die Klebkraft gemessen. Die Resultate zeigen, dass mit Erwärmungstemperaturen von 40°C bis 80°C Lösungen mit sehr guter Klebkraft hergestellt werden können. Obwohl davon ausgegangen werden muss, dass die vorhandenen Proteine bei den höheren Temperaturen Schaden nehmen, scheint sich dies erst bei 90°C und langer Erwärmungsdauer auszuwirken. Bei Temperaturen zwischen 50°C und 80°C wird der Abbau der Proteine möglicherweise durch besser gelöste Polysaccharide kompensiert.

Traditionell wird Funori über Nacht eingeweicht, es reichen aber bereits 4 Stunden um das Material gut anzuquellen. Wird das Algengeflecht vorher gemahlen, ist der Feststoffanteil der Lösung zwar grösser, sie ist aber auch stärker gefärbt und auch nach dem Abfiltrieren durch ein doppeltes feines Gewebe ist die Lösung durch feinste Schwabeteile getrübt.

Im Projekt wurden die gefilterten Lösungen jeweils während 75 Minuten bei 4000 Touren zentrifugiert und dekantiert.

Funori sollte, wie die Glutinleime, warm appliziert werden, da dies die Viskosität herabsetzt und damit ein besseres Eindringen des Festigungsmittels erreicht wird.

Eine Zugabe von 5% Isopropylalkohol ist empfehlenswert. Wie Tests auf Ultramarin gezeigt haben, ist die Gefahr von Schleierbildung wesentlich geringer. Gleichzeitig wirkt der Alkohol in der Lösung konservierend. Versuche haben gezeigt, dass die Klebkraft einer solchen Lösung auch nach 70 Tagen im Kühlschrank noch unvermindert gut ist. Der Alkoholanteil sollte aber nicht zu hoch sein, da Funori in Isopropylalkohol ausfällt.

Rezept für Funori-Lösung:

- 1-1.5 Gw% Funori in deionisiertem Wasser einweichen
- nach 30 Minuten Wasser wechseln
- 4 –12 Stunden quellen lassen
- während 60 Minuten auf 45°C - 60°C erwärmen
- durch feines Gewebe abfiltrieren

- 11 Japanische Verpackungen mit Funorissalat.  
12 Die ungebleichte Rohalge wird gewaschen.





13 Gebleichter und ungebleichter Algenhaufen.



14 Die gebleichte Alge wird auf schwimmende Siebe verteilt.



15 Sieb aus Schilfmatten.



16 Funori wird auf Reisstrohmatten gekippt.

- wenn möglich zentrifugieren
- Lösung auf silikonbeschichteten Folien ausgießen und trocknen
- trocken und vor Licht geschützt aufbewahren

#### Anwendung:

- Funori-Film in warmem ( $\pm 40^\circ\text{C}$ ) deionisiertem Wasser lösen.
- 5% Isopropylalkohol begeben und das Festigungsmittel warm applizieren.
- Die Konzentration ist abhängig vom Objekt (Schollen, Pudern), vom Ausgangsmaterial und der Applikationstechnik (0.1%-0.2% mit Ultraschallzerstäuber, 0.3%-1% mit Pinsel).
- Wenn es das Objekt erlaubt, ist eine erhöhte relative Luftfeuchtigkeit bei der Festigung von Vorteil, z. B. in einer Feuchteammer oder bei Regenwetter.

### Vergleich verschiedener Funori-Arten

Bei Funori ist wie bei jedem Naturprodukt von einer gewissen Heterogenität auszugehen, bedingt durch die verschiedenen Anbaugebiete des Rohstoffes und die unterschiedliche Verarbeitung in den Kleinbetrieben. Um eine genauere Vorstellung von den Unterschieden der verschiedenen Produkte zu bekommen, wurde Funori von sieben Lieferanten aus Japan und den USA verglichen (Abb. 19). Zudem wurden von drei Quellen jeweils zwei Lieferungen untersucht. Von den Lieferanten wird das Ausgangsmaterial nicht genauer bezeichnet. Laut Masuda [17] werden für Funori sowohl *Gloiopeltis furcata*, *Gloiopeltis tenax* und *Gloiopeltis complanata* verwendet, laut Chapman [1] vor allem *Gloiopeltis furcata*. Es ist uns nicht gelungen





17 Funori wird an der Sonne getrocknet und gebleicht.



18 Das getrocknete Funori wird von den Matten gelöst.

*Gloiopeltis complanata* in ungebleichter Form zu bekommen. Die unterschiedliche Form von *Gloiopeltis furcata* und *Gloiopeltis tenax* ist auch in den gebleichten Algenmatten erkennbar, eine klare Zuordnung aber schwierig (Abb. 20, 21).

Verglichen wurden Klebkraft, Viskosität, pH-Wert und Leitfähigkeit der Funori-Lösungen. Bei der Leitfähigkeitsmessung wird die Gesamtbilanz der Ionen gemessen, sowohl freie, die zu Ausblühungen führen könnten, als auch am Molekül gebundene Ionen. Die Messung gibt keine Information über die Art der vorhandenen Ionen. Sie konnte aber im Gegensatz zur Kapillarelektrophorese standardmässig im Labor durchgeführt werden und ist als Hinweis auf Auswirkungen von Reinigungsprozessen und zum Vergleich von Produkten durchaus zweckmässig. Zusätzlich wurden ungebundene Pigmentaustriebe auf Holz mit den verschiedenen Funori-Lösungen gefestigt.

Die Resultate der Messungen zeigten, dass bei Funori mit großen Qualitätsschwankungen zu rechnen ist. So variieren Funori von verschiedenen Lieferanten im Bezug auf pH-Wert, Ionenkonzentration, Viskosität und Färbung genauso, wie zwei Lieferungen der gleichen Quelle. Um unliebsame Überraschungen zu vermeiden, sollte vor einer Anwendung in jedem Fall der pH-Wert gemessen werden. Bei den meisten der von uns gemessenen Lösungen lag der pH-Wert zwischen 6.2 und 7.5 (pH-Wert des deionisierten Wassers: 6.4), bei zwei Lösungen lag er mit 10.2 und 10.4 aber deutlich höher. Ausschlaggebend für den Entscheid, uns in den weiteren Untersuchungen auf Funori 3 (Wakai) zu konzentrieren, waren die guten Festigungsergebnisse, die schwache Färbung der Lösung und die gleichbleibende Qualität der zwei Jahre auseinanderliegenden Lieferungen.

Die Qualitätsschwankungen von Funori erschweren es diesem Festigungsmittel, trotz sehr guter Eigenschaften, in dieser Form in der Konservierung Fuss zu fassen. Wie sich gezeigt hat, wirken sich Reinigungsschritte wie Spülen und Zentrifugieren positiv auf Färbung und Klebkraft der Lösung aus. Diese Erkenntnis hat uns bewogen, die Herstellung eines standardisierten Produktes auf Algenbasis zu verfolgen.

### Entwicklung eines Festigungsmittels auf Algenbasis

Das Ausgangsmaterial sind die Rotalgen *Gloiopeltis tenax* und *Gloiopeltis furcata*. Sie werden durch die Ina Food Industry CO., LTD in Japan vertrieben. Das Material wird unbehandelt und in getrocknetem Zustand geliefert.

19 Handelsformen von gebleichtem Funori





20 Funori 3, Lieferant Wakai



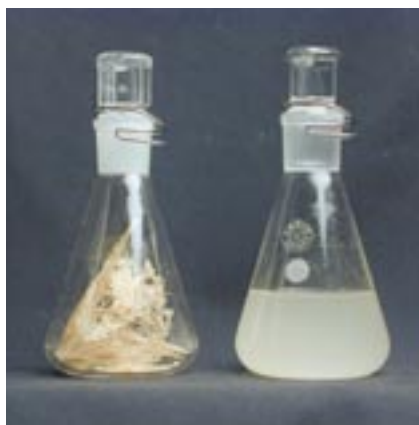
21 Funori 4, Lieferant Mizokawa

Die Alge wird in deionisiertem Wasser eingeweicht. Während des Quellprozesses nimmt sie Wasser auf und vergrößert dabei ihr Volumen um das 5–10fache. Anschließend wird sie mechanisch zerkleinert. Unter Wärmeeinwirkung ist es nun möglich die löslichen Bestandteile aus der Alge zu extrahieren. Dabei färben sich die wässrigen Lösungen intensiv rot.

Mit dem Ziel ein farbloses Produkt herzustellen wurden verschiedene Reinigungsmethoden angewendet. Der Einsatz von Bleichmitteln, wie Wasserstoffperoxid, Perborate oder Phthalimidoperoxo-hexansäure, bewährte sich nicht, da neben den farbgebenden Substanzen gleichzeitig die Polysaccharide zerstört wurden. Dies machte sich schnell durch Viskositätsverlust der wässrigen Lösung bemerkbar. Neben dem Bleichen mittels Oxidation oder Reduktion besteht die Möglichkeit färbende Substanzen durch Adsorption an feinverteilten Materialien mit einer großen Oberfläche zu binden. In Frage kommen dabei Bleicherden, Kieselgele oder Aktivkohle. Das Ergebnis der Entfärbung der wässrigen Rotalgenlösungen durch Bleicherden und Kieselgele entsprach aber nicht den Erwartungen. Lediglich eine leichte Aufhellung der Lösung konnte erreicht werden. Letztlich lieferte die Anwendung von Aktivkohle das gewünschte Ergebnis. Die Bleichung wurde durch Wärmeeinwirkung verstärkt. Zudem konnte neben der Entfärbung, auch der für die Lösungen typische Meeres- und Algengeruch beseitigt werden.

Als einziges Problem verblieb die restlose Entfernung der Aktivkohle nach dem Bleichprozess. Normale Filterpapiere und Filtersysteme erwiesen sich als unbrauchbar. Nicht nur durch die hohe Viskosität der Lösungen - die Filter verstopfen sehr schnell - auch durch die Feinheit der Aktivkohle, die als Pulver eingesetzt wird. Die pulverisierte Aktivkohle passiert den Filter und wird nach Rückgewinnung der gereinigten Substanz aus der wässrigen Lösung als grauer Schleier wiedergefunden. Der Einsatz von gekörnter Aktivkohle erwies sich als unbrauchbar, da nicht die gleichen Reinigungsergebnisse erzielt wurden. Die Grösse der Aktivkohlepartikel liegt im Mikrometerbereich. Mit dem Einsatz eines Glasfaserfilters konnte eine restlose Entfernung der Aktivkohle erreicht werden. Durch diese Methode gelang es, ein farbloses und transparentes Festigungsmittel zu gewinnen. Rein visuell erfüllten diese Produkte die Anforderungen (Abb. 22, 23). Messungen der Leitfähigkeit von wässrigen Lösungen ergaben aber zu hohe Werte, was auf hohe Salzgehalte schliessen liess. Indem die Alge während des Quellprozesses in deionisiertem Wasser gespült wurde, konnte eine starke Reduktion der Salze erreicht werden. Versuche, die Salze durch Dialyse oder über eine Ionentauschersäule der Lösung zu entziehen, verliefen erfolglos. Die Extraktionsversuche haben gezeigt, dass die Menge an Material, welches aus der Rotalge gewonnen werden kann, stark von der Temperatur des Wassers und dem Zerkleinerungsgrad der Alge abhängt. Gleichzeitig steigt die Viskosität der Lösungen an, je länger und bei je höheren Temperaturen extrahiert wird. Ausschlaggebend dafür, welches Produkt bei welcher Temperatur und bei welchem Zerkleinerungsgrad brauchbar ist, war das visuelle Erscheinungsbild der konsolidierten Testpigmentschichten und die Verarbeitbarkeit der wässrigen Lösungen. Diese Festigungsversuche haben gezeigt, dass nur Algenextrakte, die mit einer Temperatur von ca. 45°C innerhalb von 4h hergestellt wurden, optimale Ergebnisse bezüglich der

22 Festigungsmittellösung aus traditionellem Funori



Verarbeitbarkeit, Viskosität und dem visuellen Erscheinungsbild der Pigmentschicht nach der Applikation liefern. Mit *Gloiopeltis furcata* wird bei gleichem Verfahren eine annähernd doppelt so grosse Ausbeute wie mit *Gloiopeltis tenax* erreicht.

Das aus Japan importierte Rohmaterial ist von unterschiedlicher Qualität. Durch Anpassungen im Verfahren konnten die Unterschiede ausgeglichen und Produkte von annähernd gleicher Qualität hergestellt werden. Kleine Schwankungen müssen aber, wie bei jedem Naturprodukt in Kauf genommen werden. Die neuen Produkte zeigen gleich gute Eigenschaften wie das traditionelle Funori, sie sind aber geruch- und farblos, kleben besser und sind wesentlich einfacher zu verarbeiten.

## Festigungsversuche

Im ersten Projekt wurden Festigungsversuche an ungebundenen und an schwach mit Glutinleim gebundenen Pigmentschichten durchgeführt. Als Träger dienten gehobelte Fichtenholz-brettchen aus feinjähigem Halbrift und auf Keilrahmen gespannte Leinwand (einfache Leinenbindung, 16 Fäden /cm<sup>2</sup>). Für die schwach gebundenen Schichten wurden die Träger mit einer Kreidegrundierung versehen. Die Farbe wurde mit dem Pinsel 2-3 mal aufgetragen und Unterschiede in der Schichtdicke (50-130 µm) dabei bewusst in Kauf genommen. Als Pigmente wurden im ersten Teil Titandioxid (Rutil), Oxidgelb, ein mit Kreide verschnittenes Pflanzenschwarz und ein mit Kreide und Gips verschnittenes Oxidrot gewählt. Zusammen mit Funori wurden zwei weitere Festigungsmittel auf wässriger Basis getestet, die häufig zur Festigung matter Malerei verwendet werden. Es waren dies die Hydroxipropylcellulose Klucel E und Gelatine in gepulverter Lebensmittelqualität von Merck.

Im zweiten Projekt haben wir uns auf die Festigung von ungebundenen Pigmentschichten beschränkt, davon die Rot- und Graumischungen des Vorprojektes und Ultramarin. Als Festigungsmittel wurden zusätzlich zwei gereinigte Algenprodukte (Basis: *Gloiopeltis furcata* bzw. *Gloiopeltis tenax*), Störleim und eine niedrigviskose Methylcellulose (Methocel LV von Fluka) getestet.

Die Pigmentaufstriche auf Holz sind ohne vorzunetzen mit einem Ultraschallzerstäuber, diejenigen auf Leinwand mit dem Pinsel durch ein sehr dünnes Japanpapier gefestigt worden. Die Hälfte des Dummies blieb unbehandelt, um so mögliche Randbildung festzustellen. Die Celluloseether sind kalt, die Glutinleime und die Algenprodukte warm (ca. 40°C) appliziert worden.

Randbildung, Verdunkeln und Schleier haben wir von Auge beurteilt. Die Glanzmessungen wurden mit einem micro-TRI-gloss Gerät der Marke BYK-Gardner durchgeführt. Dabei wird die Oberfläche unter einem definierten Winkel (85° für matte Prüfkörper) angestrahlt und das reflektierte Licht fotoelektrisch gemessen. Für die Farbmessungen haben wir das Chromameter CR-231, ein Dreibereichsmessgerät von Minolta, verwendet.

Generell reagieren die ungebundenen Pigmentschichten wie erwartet, empfindlicher auf eine Festigung als die schwachgebundenen. Bei beiden Systemen wird die Empfindlichkeit durch den Verschnitt mit Kreide und Gips noch erhöht.

Mit wenigen Ausnahmen (vor allem Klucel E) konnte die Ko- und Adhäsion der gefestigten Schichten als genügend bis sehr gut bezeichnet werden.

Im folgenden die Beurteilung der getesteten Festigungsmittel:

- Mit Klucel E gefestigte Pigmentschichten zeigen sehr starke optische Veränderungen. Die gefestigten Dummies verdunkeln stark, es kommt zu ausgeprägter Randbildung. Auffällig ist auch ein milchigweisser Schleier der vor allem bei der Festigung der Rotmischung gut sichtbar ist. Auch im Bezug auf die Klebkraft schneidet Klucel E schlecht ab (Abb. 24, 25).
- Mit Methocel LV wurde eine gute Festigung der Dummies erreicht. Die optischen Veränderungen waren wesentlich geringer als mit Klucel E (Abb. 25).
- Gelatine hat ein sehr gutes Penetrationsvermögen und eine gute Klebkraft. Vor allem die ungebundenen Pigmentschichten konnten mit gutem Resultat gefestigt werden. Es ist keine Schleierbildung und nur schwaches Verdunkeln festzustellen. Besonders



23 Festigungsmittellösung aus dem gereinigten Algenprodukt

Konzentrationen der Lösungen		
Festigungsmittel	Aerosolgerät	Pinsel
Klucel E	0.5 %	2 %
Methocel LV	0.4 %	0.5 %
Gelatine	0.5 %	1 %
Störleim	0.5 %	1 %
Funori	0.15 %	0.3 %
<i>Gloiopeltis furcata</i>	0.1 %	0.3 %
<i>Gloiopeltis tenax</i>	0.1 %	0.3 %



24 Festigung von ungebundenen Pigmentschichten auf Holz mit Klucel E, Gelatine und Funori

auffällig und problematisch ist aber die starke Tendenz von Gelatine zur Randbildung (Abb. 26).

- Störleim ist bezüglich Eindringvermögen und Klebkraft mit der Gelatine vergleichbar. Die gefestigten Schichten sind aber weniger verdunkelt und auch die Randbildung ist geringer. Mit dem Störleim wurden sehr gute Festigungsergebnisse erreicht (Abb. 26).
- Bei der hochempfindlichen Graumischung führt auch eine Festigung mit den drei Algenpräparaten zu einem leichten Verdunkeln und schwächer auch zu Randbildung. Der optische Eindruck der Malschicht verändert sich mit Funori und den beiden neuen Produkten aus *Gloiopeltis furcata* und *Gloiopeltis tenax* aber am wenigsten. Bedingt durch die relativ hohe Viskosität der Lösungen, ist das Eindringvermögen aber wesentlich schlechter als das der beiden Glutinleime (Abb. 27, 28).

### Verträglichkeit mit Pigmenten

Pigmentveränderungen sind häufig auf das Vorhandensein von Sulfid-Ionen oder auf einen hohen oder tiefen pH-Wert zurückzuführen. Um abzuklären ob die Anwendung einer Funori-Lösung zu Pigmentveränderungen führen kann, wurden neben stabilen, eine Reihe von schwefel- und alkaliempfindlichen Pigmenten mit Funori behandelt. Folgende Pigmente wurden getestet: Bleiweiß ( $2 \text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ), Kreide ( $\text{CaCO}_3$ ), Litopone ( $\text{ZnS} + \text{BaSO}_4$ ), Titanweiß ( $\text{TiO}_2$ ), Zinkweiß ( $\text{ZnO}$ ), Neapelgelb ( $\text{Pb(SbO}_3)_2$  oder  $\text{Pb}_3(\text{SbO}_4)_2$ ), Chromgelb ( $\text{PbCrO}_4$ ), Kobaltblau ( $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), Zinkgelb ( $3 \text{ZnCrO}_4 \cdot \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), Bleimennige ( $2 \text{Pb}^{\text{II}}\text{O} \cdot \text{Pb}^{\text{IV}}\text{O}_2$ ), Chromrot ( $\text{PbCrO}_4 \cdot \text{Pb(OH)}_2$ ), Preussischblau ( $\text{Fe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6]_3$ ), Azurit ( $2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ), Malachit ( $2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ ), Grünspan ( $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) und Bleichromgrün (Chromgelb + Preussisch Blau).

Eine Serie wurde während drei Wochen mit 1%iger Funori-Lösung befeuchtet, eine zweite während zwei Wochen in der Funori-Lösung eingesumpft.

Mit beiden gewählten Versuchsanordnungen war sowohl die Kontaktdauer Festigungsmittel-Pigmente wie auch die Funori-Menge viel höher als in der praktischen Anwendung. Vor allem die Beobachtung möglicher Veränderungen an eingesumpften Pigmenten hat keinen direkten Bezug zur Praxis, sondern stellt eine extreme Test-Bedingung dar. Innerhalb der Beobachtungszeit ergaben sich bei beiden Versuchsanordnungen keine sichtbaren Pigmentveränderungen, weder makro- noch mikroskopisch.

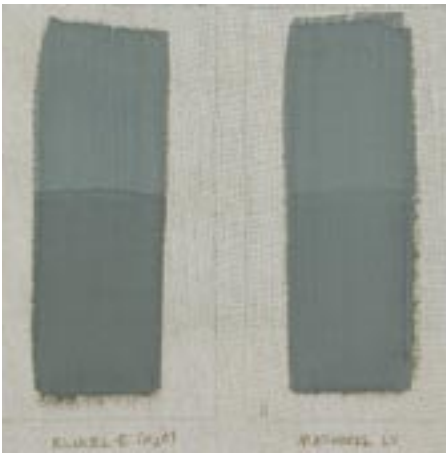
### Mechanische Eigenschaften der Festigungsmittelfilme

Ein Festkörper ändert seine Gestalt durch äußere Einwirkung von Kraft [5, 14, 29]. Eine Schubkraft schert einen Körper, eine Zugkraft dehnt ihn und eine Druckkraft komprimiert ihn. Das Maß der Deformierbarkeit hängt von der inneren Struktur des Materials, der Deformationsgeschwindigkeit und der Temperatur ab. Zur Beschreibung der elastischen Eigenschaften von Festkörpern, wie Metalle oder Gläser, wird das Hook'sche Gesetz herangezogen. Die Deformation ist dabei proportional der Zugkraft und unabhängig von der Deformationsgeschwindigkeit.

Für die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften der Festigungsmittelfilme werden diese in einem Zugexperiment bis zum Riss gedehnt. Dabei wird an einer rechteckigen Filmprobe mit dem Querschnitt A und der Länge l mit einer Kraft F gezogen. Der Film verlängert bzw. dehnt sich um die Länge  $\Delta l$ . Diese Dehnung ist bei nicht allzu grosser Belastung proportional zu der Kraft F und Länge l, aber umgekehrt proportional zum Querschnitt A. Es gilt:

$$\Delta l = \frac{l \cdot F}{E \cdot A} \quad \text{oder} \quad \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \frac{F}{A}$$

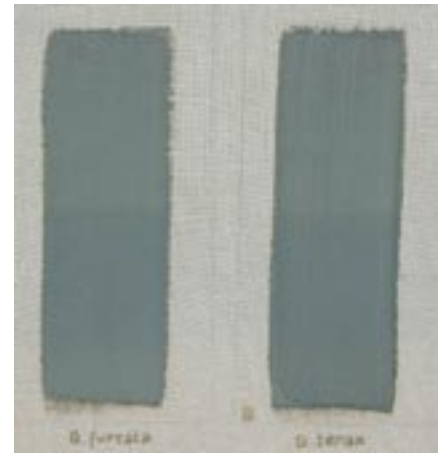
Die Proportionalitätskonstante E heisst Dehnungs- oder Elastizitätsmodul. Mit dieser Konstante werden unterschiedliche Verhalten verschiedener Materialien beschrieben. Je grösser E ist, desto weniger elastisch ist das Material. Das Verhältnis  $\sigma = \Delta l / l$  heisst Dehnung (engl. *strain*) und gibt die Verlängerung bzw. Verkürzung pro Längeneinheit an. Das Verhältnis



25 Festigung von ungebundenen Pigmentschichten auf Leinwand mit Klucel E und Methocel LV



26 Festigung mit Gelatine und Störleim



27 Festigung mit neuem Produkt aus Gloiopeltis furcata und Gloiopeltis tenax

$\sigma = F/A$  wird als Zug bzw. als Spannung (engl. *stress*) bezeichnet. Damit gilt,  $\sigma = E \cdot \epsilon$ , welches auch Hook'sches Gesetz genannt wird. Dehnung und Spannung sind einander proportional und Festkörper, die diesem Gesetz folgen, werden ideal elastisch bezeichnet. Da  $\epsilon$  dimensionslos ist, besitzt E die Dimension einer Spannung und wird in  $N/mm^2$  angegeben.

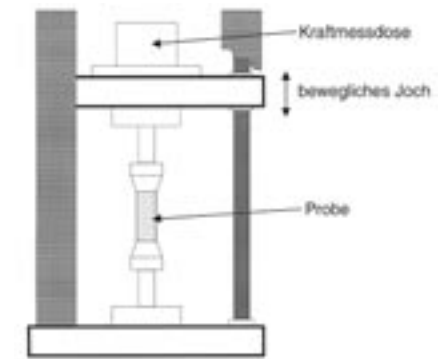
Für die Zugversuche stehen kommerziell erhältliche Zugprüfmaschinen zur Verfügung (Abb. 29). Zwischen zwei Klemmbacken ist die Probe als dünner Film eingespannt. Die Klemmbacken sind jeweils mit einer Traverse verbunden, wobei die obere beweglich ist. Bei der Prüfung wird die Probe langsam auseinandergezogen und fortlaufend die Kraft, die die Probe dem Zug entgegengesetzt, mit einer Kraftmessdose gemessen und aufgezeichnet. Als Ergebnis des Zugversuches erhält man die Spannung  $\sigma$  als Funktion der Deformation  $\epsilon$ , dargestellt in «Spannungs-Dehnungs-Kurven» oder «Zug-Dehnungs-Diagrammen».

Betrachtet man jetzt den Fall, dass bei einem Zugversuch die Probe (hier der Festigungsmittelfilm) nur kleinen Spannungen ausgesetzt und die Dehnung damit klein ist, dann kann man davon ausgehen, dass das Material sich elastisch verhält. Erhöht man jetzt die Spannung und betrachtet das Verhalten des Materials bei grösseren Dehnungen, so zeigen die Spannungs-Dehnungs-Kurven bei einer gegebenen Temperatur einen charakteristischen Verlauf. Im Bereich der Spannungs-Dehnungs-Kurve (Abb. 30), der sich unterhalb des Punktes E befindet, gilt das Hook'sche Gesetz. Die Zugspannung ist der Dehnung proportional und die Materialien nehmen bei einer Entlastung wieder ihre ursprüngliche Form an. Die Dehnung durchläuft mit abnehmender Spannung die gleichen Werte wie bei zunehmender Spannung. Oberhalb des Punktes E, der Elastizitätsgrenze, führt die Spannung zu einer bleibenden Formveränderung bei einer Entlastung. Dies geschieht deshalb, weil sich die Polymerketten im Material umlagern. Eine bleibende Dehnung von 0.2% heisst Streckgrenze (S). Darüber hinaus wächst die Dehnung deutlich stärker als die Spannung bis ein relatives Maximum erreicht wird, der Yield-Punkt (Y). Sehr spröde Polymere reißen an diesem Punkt. Bei zähen Polymeren lösen sich die nicht-kovalenten Bindungen (z.B. Wasserstoffbrückenbindungen) und die Kettensegmente können voneinander abrutschen (entschlafen). Das Polymer beginnt zu fließen. Oberhalb dieses Punktes nimmt die Dehnung weiter zu und die Spannung sinkt oder bleibt konstant. Im Punkt Z wird die höchste Dehnung erreicht, die das Material gerade noch aushält. Steigt die Spannung weiter reißt das Material im Punkt R. Die Spannung an diesem Punkt heisst Reissfestigkeit  $\sigma_R$  und die Dehnung  $\epsilon_R$  Reissdehnung.

Der Zugversuch an den Festigungsmittelfilmen wurde in Anlehnung an die Norm DIN EN ISO 527 (Bindemittelfilme) durchgeführt. Die Proben besaßen folgende Dimensionen: rechteckige Flachprobe mit einer Länge von 100 mm, Breite von 15 mm und Dicke von 0.03 bis 0.08 mm. Ab einer Vorkraft von 1 N wurde mit einer lagegeregelten Prüfgeschwindigkeit von 5 mm/min bei 23°C und ca. 50% relative Luftfeuchtigkeit bis zum Bruch der Probe gezogen.



28 Festigung mit zentrifugiertem Funori 3, ungefestigte Referenz



29 Schema einer Zugprüfmaschine [27]

Die großen Streuungen in den Kurvenscharen, die aus sechs Einzelmessungen bestehen, deuten darauf hin, dass es sich bei den Proben nicht um ausgesprochen einheitliche Filme handelte. Innerhalb einer Messserie erfolgte ein Bruch nicht immer bei der gleichen Dehnung oder Spannung. Dennoch lässt sich ein Trend in den Kurven erkennen und die Materialien entsprechend charakterisieren.

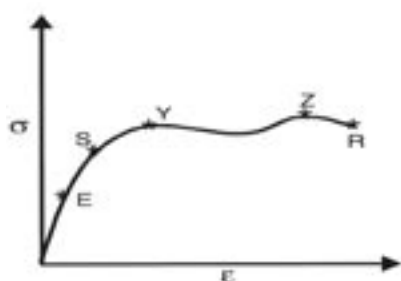
Abbildung 31 zeigt im Vergleich repräsentativ Spannungs-Dehnungskurven aller ungealterten Festigungsmittelfilme. Deutlich sind die unterschiedlichen Spannungen zu erkennen, welche die Filme bei verschiedenen Dehnungen erreichen.

Die Sprödigkeit der Gelatine und des Störleims ist auf deren Struktur zurückzuführen. Die aus Aminosäuren aufgebauten Polymerketten werden untereinander durch Wasserstoffbrückenbindungen vernetzt. Die Vernetzung kann soweit gehen, dass Bereiche im Material eine spröde kristalline Struktur besitzen. Dies ist auch der Grund, warum die Festigungsmittelfilme nicht den Yield-Punkt erreichen, sondern vorher reißen. Die Polymerketten haben nicht die Möglichkeit, durch die Wasserstoffbrückenbindungen voneinander abzugleiten und zu entschlaufen, d.h. ins Fließen zu kommen. Dies scheint bei der Gelatine in erhöhtem Masse der Fall zu sein.

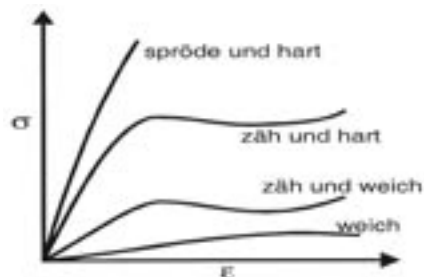
*Gloiopeltis furcata*, *Gloiopeltis tenax* und F3 Wakai sind aus Polysacchariden aufgebaut. Diese Moleküle können ebenfalls untereinander Wasserstoffbrückenbindungen ausbilden und sich so vernetzen. Diese Bindungen sind bei den Polysacchariden aus *Gloiopeltis furcata* und *Gloiopeltis tenax*, vermutlich wegen ihrer Reinheit, offensichtlich stärker ausgeprägt und führen im Vergleich zu F3 Wakai, zu einer höheren Spannung.

Bei Klucel E und Methocel LV können sich auf Grund der Blockierung der Hydroxygruppen durch die Veretherung, die Polymerketten des ursprünglichen Cellulosemoleküls nicht mehr über Wasserstoffbrückenbindungen miteinander verknüpfen. Zudem stören die Seitenketten einen geordneten, stabilen Aufbau der Cellulose. So baut sich bei geringen Dehnungen, nur eine geringe Spannung auf, da die Ketten fast ungehindert voneinander abgleiten können. Selbst nach dem Punkt der maximalen Dehnung ist das Material unter Spannungsverlust noch geringfügig dehnbar.

Bei Klucel E muss schon bei kleinen Dehnungen mit einer geringfügigen Formveränderung gerechnet werden, da scheinbar eine Elastizitätsgrenze fehlt. Werden Pigmentschichten in einem grösseren Ausmass gedehnt, muss bei der Gelatine auf Grund deren Spröde am ehesten mit Rissen in der Pigmentschicht gerechnet werden.



30 oben: schematische Darstellung einer Spannungs-Dehnungs-Kurve; unten: Spannungs-Dehnungs-Kurven der vier Grund-Materialtypen [27].



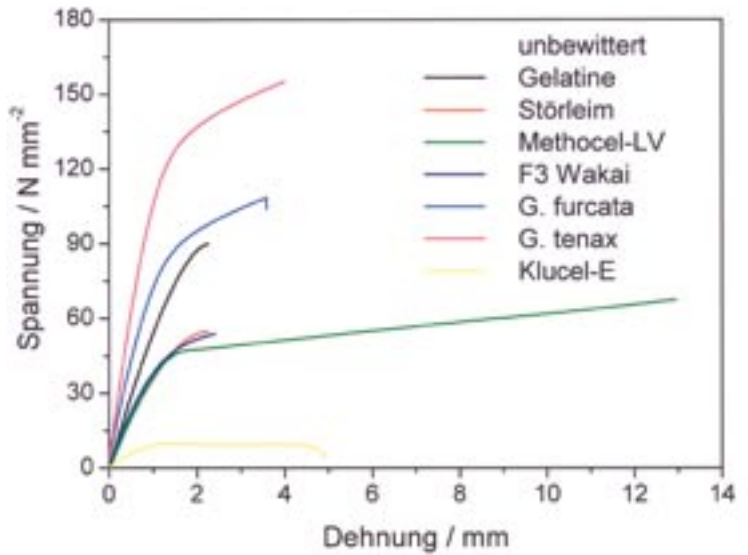
## Künstliche Alterung an Festigungsmittelfilmen

Um verlässliche Prognosen über das Alterungsverhalten von Materialien machen zu können, wurden verschiedene Alterungstests entwickelt. Feller [3] unterscheidet zwischen photochemisch, thermisch und mikrobiologisch induziertem Abbau. Auf Grund eines künstlich forcierten Alterungsprozesses Aussagen über die Stabilität eines Stoffes im zeitlichen Bezug zu machen, ist umstritten. Die künstliche Alterung liefert aber wertvolle Informationen zur Stabilität eines Materials an sich und im Vergleich mit anderen unter den gleichen Bedingungen gealterten Materialien. Um das Alterungsverhalten unabhängig von Pigment und Substrat beurteilen zu können, wurden freistehende Festigungsmittelfilme hergestellt.

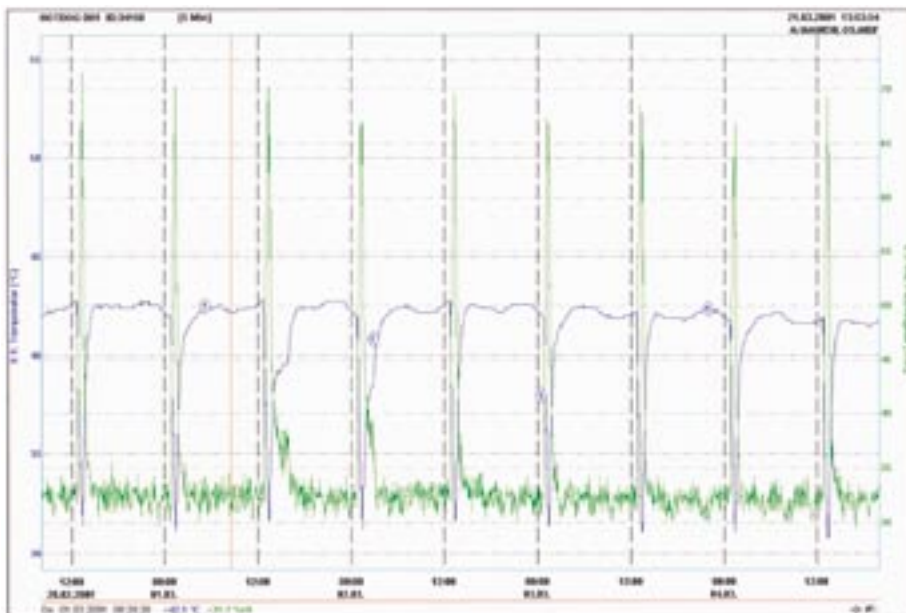
Die künstliche Alterung wurde in einem Schnellbewitterungsgerät Q.U.V. durchgeführt, bei dem im Unterschied zur Beanspruchung durch gefilterte Xenonbogenbestrahlung, bewusst nur eine Strahlung im Wellenlängenbereich von 290 bis 400 nm benutzt wird. Als Strahlungsquellen dienten acht Leuchtstofflampen des Typs UVA-351, mit einem Wellenlängenbereich, der dem durch Fensterglas gefilterten Sonnenlicht entspricht. Im »Normalbetrieb« werden in diesem Gerät industrielle Beschichtungen wie z.B. Autolacke geprüft. Neben der UV-Belastung werden die Proben auch Kondensationszyklen ausgesetzt. Da die im Projekt geprüften Festigungsmittel alle wasserlöslich sind, musste das Gerät modifiziert werden. Mit den getroffenen Massnahmen wurde während des UV-Zyklus eine Temperatur von ca. 42°C und eine relative Luftfeuchte von ca. 32% gefahren. Der UV-Zyklus wurde im Zeitraum von 24 Stunden zweimal während 45 Minuten ausgeschaltet. Während dieser Pausen sank die Temperatur auf 32°C, die relative Feuchtigkeit stieg auf ca. 68% an (Abb. 32).

In teflonbeschichteten Formen wurden Festigungsmittelfilme mit einem Durchmesser von 16,5 cm hergestellt. Die Schichtdicke schwankte je nach Festigungsmittel zwischen 0.02 und 0.08mm. Die Filme wurden in Aluminiumrahmen befestigt, wobei eine Glasfaserfolie den direkten Kontakt zum Metall verhinderte. Auf diese Weise wurden sie während 1500 Stunden bewittert. Nach Farbton- und Glanzmessungen wurden die gealterten und ungealterten Filme konditioniert, in 11cm lange und 1cm breite Streifen geschnitten und auf ihre Zugfestigkeit geprüft (Abb. 42 – 47).

- Klucel E (Hydroxipropylcellulose) in Wasser und in Isopropanol gelöst, zeigt vor der Alterung bei der Zugprüfung das gleiche Kurvenbild. Bereits nach der Hälfte der Bewitterungszeit haben sich beide von einem flabberigen, milchgrünen, in einen glasig transparenten, hochglänzenden und spröden Film verwandelt. Der Film hat sich sehr stark zusammengezogen und ist gerissen, was es verunmöglichte, Proben für die Zugprüfung herzustellen (Abb. 33, 34).
- Bei Methylcellulose, Methocel, unterscheiden sich die ungealterten Filme der beiden Viskositätstypen in Bezug auf Farbe und Glanz nicht. Beide bilden einen flexiblen, »papierartigen« Film, wobei der mittelviskose Typ etwas weniger steif ist als der niedrigviskose. Nach 1500 Stunden haben beide ihre Transparenz verloren. Sie sind milchig und der niedrigviskose Typ ist zusätzlich stark vergilbt ( $\Delta b = 6.15$ ). Beim niedrigviskosen Typ ist zudem eine starke Zunahme des Glanzes messbar. Beide Filme sind stark versprödet, der mittelviskose ist bereits während der Alterung mehrfach gerissen. Nach der Belastung durch die Glanz und Farbtonmessungen konnten vom mittelviskosen Typ keine Streifen für die Zug/Dehnungsmessungen geschnitten werden, vom niedrigviskosen Typ nur noch wenige. Entsprechend zeigt sich auch der durch die Bewitterung verursachte Abbau des Festigungsmittels im massiv veränderten Kurvenbild (Abb. 35, 36, 42).
- Gelatine bildet einen leicht gelblichen, glänzenden, etwas steifen Film. Nach der künstlichen Alterung hat er an Glanz verloren, ist versprödet und etwas ausgebleicht. Der Film hat sich nur leicht ausgedehnt (Abb. 37, 43).
- Der Störleim hat sich im ganzen betrachtet optisch am wenigsten verändert. Das Kur-



31 Spannungs-Dehnungs-Kurven der Festigungsmittelfilme



32 Temperatur- und Luftfeuchteschwankungen im Schnellbewitterungsgerät während der künstlichen Alterung

venbild zeigt, dass er im Vergleich zur Gelatine auch weniger versprödet ist. (Abb. 38, 44).

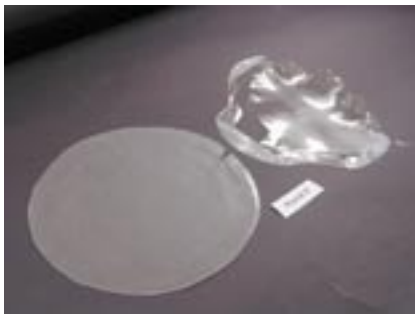
- Alle Funori-Produkte bleichen durch die Bewitterung sehr stark aus (Funori 3 mehr als *G. tenax* mehr als *G. furcata*) und werden noch matter. Das aus *Gloiopeltis furcata* hergestellte Produkt ist bereits vor der Alterung das am wenigsten gefärbte, entsprechend bleicht es auch weniger aus. Die Filme dehnen sich leicht aus, bleiben aber auch nach der Alterung flexibel. Auf Grund der Zug-Dehnungskurven ist beim traditionellen Funori von einer leichten Versprödung auszugehen. Sie ist aber wesentlich weniger stark wie bei der Gelatine. Bei den gereinigten Produkten scheint der Film nach der Bewitterung, ohne Verlust der Elastizität, weicher geworden zu sein. Dies könnte mit der starken Hygroskopizität der gereinigten Algenprodukte zusammenhängen, wobei das eingelagerte Wasser zu einer leichten Erweichung führt. (Abb. 39, 40, 41, 45, 46, 47).

Ausser Klucel E und dem Störleim sind alle geprüften Festigungsmittel auch nach der Alterung noch in Wasser löslich.

Die Festigungsmittelfilme wurden vor und nach der künstlichen Alterung mittels Infrarotspektroskopie (ATR) vermessen. In den Graphen wird jeweils der relevante Wellenzahlenbereich von 2000 – 300  $\text{cm}^{-1}$  gezeigt. Der Bereich oberhalb 2000  $\text{cm}^{-1}$  ist hier nicht aussagekräftig und wird daher auch nicht weiter betrachtet.

Mit der Infrarotspektroskopie kann auf einfachem Weg schnell ein Vergleich zwischen unbewitterten und bewitterten Materialien durchgeführt werden. Dabei ist es möglich molekulare Veränderungen, die durch die künstliche Bewitterung herbeigeführt wurden, zu detektieren. Die Infrarotspektren der Filme von *Gloiopeltis furcata* (Abb. 48) und Störleim (Abb. 49) sind vor und nach der künstlichen Bewitterung deckungsgleich. Damit kann im Rahmen der Messmethode davon ausgegangen werden, dass während der künstlichen Alterung keine signifikanten molekularen Veränderungen stattfanden. Anders verhält es sich bei den Festigungsmittelfilmen aus Methocel LV (Abb. 50) und Klucel E (Abb. 51). Beide Materialien zeigen nach der Bewitterung eine Veränderung im Infrarotspektrum. Hier erscheinen zusätzliche Banden im Infrarotspektrum von Methocel LV bei 1732  $\text{cm}^{-1}$  und in dem von Klucel E bei 1722  $\text{cm}^{-1}$ . Eine Datenbankanalyse und die Untersuchungen von Feller [26] geben Hinweise darauf, dass es sich bei den zusätzlichen Banden um Carbonylgruppen handelt. Diese entstehen durch Peroxide, die bei der Bewitterung durch eine Reaktion von Sauerstoff mit dem Celluloseether gebildet werden. Dabei erfolgt auch ein Abbau des Celluloseethers.

33 Klucel E in  $\text{H}_2\text{O}$ , vor (links) und nach (rechts) der künstlichen Alterung



34 Klucel E in Isopropylalkohol, vor (links) und nach (rechts) der künstlichen Alterung

### **Anfälligkeit auf Mikroorganismen**

Die biologischen Tests zur Anfälligkeit auf Mikroorganismen wurden an der EMPA St. Gallen von Bettina Lanz, Dr. Jean-Pierre Kaiser und Dr. Paul Raschle durchgeführt. Im folgenden die Zusammenfassung ihres Berichtes.

Als Trägermaterial wurden sandgestrahlte Objektträger verwendet. Von den Festigungsmitteln (Gelatine, Störleim, Klucel E in Wasser, Klucel E in 75%igem Isopropylalkohol, Methocel LV, Funori zentrifugiert, *Gloiopeltis tenax*, *Gloiopeltis furcata*) wurden 0.75%ige Lösungen angesetzt und je 0.1ml gleichmässig aufgetragen und anschliessend bei 23°C und 50% relativer Luftfeuchte während zwei Wochen getrocknet. Für die Beimpfung wurde eine kohlenstofffreie Sporensuspension, bestehend aus den Pilzen *Aspergillus niger*, *Penicillium funiculosum*, *Paecilomyces variotii*, *Gliocladium virens* und *Chaetomium globosum* verwendet. Nach der Beimpfung wurden die Proben einerseits bei 24°C und 85% relativer Luftfeuchte respektive bei 24°C und > 95% relativer Luftfeuchte während 8 Wochen inkubiert.

Bei gleichbleibender relativer Luftfeuchte von 85% wurde keines der acht Prüfmateriale innerhalb von acht Wochen als alleinige Nahrung verwertet. In der Feuchteammer >95% relativer Luftfeuchte, wurden alle acht Muster soweit bewachsen, dass mit 50facher Vergrößerung einzelne Pilzkolonien sichtbar wurden. Nur in seltenen Einzelfällen waren diese auch fürs blosse Auge zu erkennen.

Weil gleichzeitig die Kontroll-Baumwolle innerhalb von zwei Wochen im gleichen Klima sichtbaren Bewuchs zeigte, lässt sich das Prüfergebn so zusammenfassen, dass keines der Prüfmuster als Nahrung für Pilze zu bezeichnen ist.





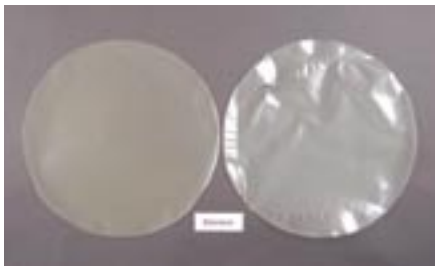
35 Methocel LV, vor und nach künstlicher Alterung



36 Methocel MV, vor und nach künstlicher Alterung



37 Gelatine, vor und nach künstlicher Alterung



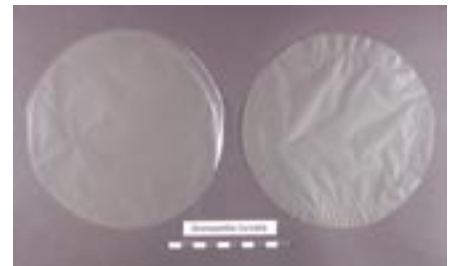
38 Störleim, vor und nach künstlicher Alterung



39 Funori 3 zentrifugiert, vor und nach künstlicher Alterung



40 Produkt aus *Gloiopeltis tenax*, vor und nach künstlicher Alterung



41 Produkt aus *Gloiopeltis furcata*, vor und nach künstlicher Alterung

Pilzwachstum benötigt immer eine ausgewogene Mischung verschiedener Nahrungsbestandteile, neben der organischen Kohlenstoffquelle insbesondere auch die Stickstoffquelle. In den vorliegenden Resultaten wurden die reinen Testmaterialien verwendet. Die Resultate müssen darum so verstanden werden, dass die Kombination mit Träger, Grundierung und weiteren Bindemitteln, aber auch in der Praxis stets möglichen Staubablagerungen, zu stärkerem Bewuchs führen können als die reinen Festigungsmittel. Dies bestätigen auch die Resultate der im ersten Forschungsprojekt durchgeführten Prüfung. Im ersten Test wurden die Festigungsmittel auf unterschiedliche Substrate wie Gips, Holz und Leinwand aufgetragen. Dabei wurde auf allen Proben bereits bei einer relativen Luftfeuchte von 85% ein erhöhtes Pilzwachstum festgestellt.

Die Resultate lassen keine klare Differenzierung der verschiedenen Festigungsmittel zu, sie sind sich sehr ähnlich. Die Algenpräparate werden also nicht stärker bewachsen als die anderen Festigungsmittel der Testreihe. Sie verhalten sich auch bei klimatischen Änderungen in gleicher Art. Mit steigender relativer Luftfeuchte erhöht sich das Risiko eines Bewuchses.

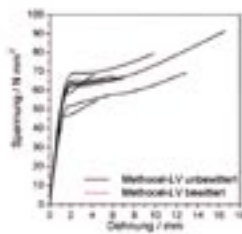
## Schlußbetrachtung

Bei den im Handel erhältlichen Funori sind im Bezug auf Farbe, Struktur, pH-Wert, Viskosität und Klebkraft der Lösung beträchtliche Unterschiede festzustellen. Aus diesem Grund wurde ein Reinigungsverfahren entwickelt, das die Herstellung von farblosen und gut verarbeitbaren Produkten aus der Rotalge *Gloiopeltis furcata* und *Gloiopeltis tenax* erlaubt. Neben diesen neuen Produkten wurden auch ein traditionelles Funori, Gelatine, Störleim, eine Hydroxipropylcellulose (Klucel E) und eine Methylcellulose (Methocel LV, Fluka) verschiedenen technologischen Prüfungen unterzogen.

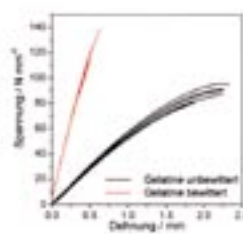
Bei den Festigungsversuchen an ungebundenen Pigmentschichten zeigen sich die ausgezeichneten optischen Eigenschaften der Algenpräparate. Die Glutinleime dringen dank ihrer niedrigen Viskosität sehr gut ein und haben eine bessere Klebkraft als die Algenprodukte. Vor allem die Gelatine neigt aber verstärkt zu Randbildung. Mit der Methylcellulose wurden gute Festigungsergebnisse mit nur geringen optischen Veränderungen erreicht. Bei der Festigung mit der Hydroxipropylcellulose kam es zu massivem Verdunkeln der Pigmentschichten, sowie zu Rand- und Schleierbildung.

Die hohe Viskosität der Algenprodukte erschwert das Eindringvermögen der Festigungslösung. Bei ersten Versuchen an einem Objekt wurden darum dachförmig aufstehende

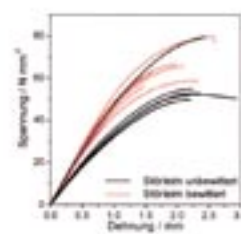
- 42 Methocel LV
- 43 Gelatine
- 44 Störleim
- 45 Funori (traditionell)
- 46 Funori (aus *G.furcata*)
- 47 Funori (aus *G.tenax*)



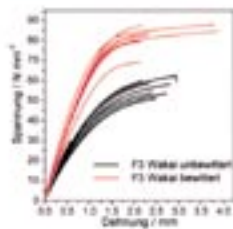
42



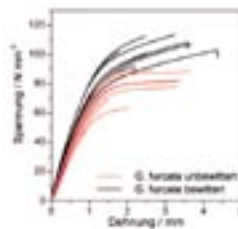
43



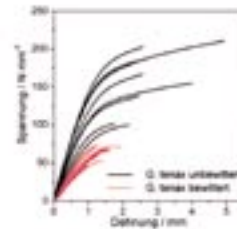
44



45



46



47

Schollen einer pudrigen Malschicht mit einem Algen/Störleimgemisch und die pudrige Oberfläche mit einer Algenlösung gefestigt. Mit dem Störleim konnte so die Viskosität herabgesetzt, die Klebkraft gleichzeitig erhöht und dank dem Algenextrakt optische Veränderungen wie Glanz oder Randbildung verhindert werden.

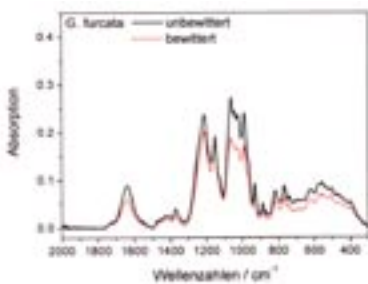
Für die Prüfung der Langzeitstabilität wurden Festigungsmittelfilme gezogen und unter erhöhter UV-Belastung sowie gleichzeitiger Temperatur- und Luftfeuchteschwankungen künstlich gealtert. Die Algenprodukte sind dabei stark ausgebleicht, haben ihre Elastizität aber weitgehend erhalten. Bei den Glutinleimen ist die Gelatine stärker versprödet und leicht ausgebleicht. Der Störleim hat sich optisch und auch in Bezug auf seine mechanischen Eigenschaften am wenigsten verändert. Die künstlich gealterten Celluloseether bestätigen die bereits von Feller [3] festgestellte schlechte Langzeitstabilität. Dies vor allem bei der Hydroxypropylcellulose, die sich sowohl wässrig wie auch in Isopropylalkohol gelöst von einem ursprünglich milchig trüben, hochflexiblen Film, zu einem glänzenden, transparenten

komplett versprödeten Film deformiert hat. Auch die Methylcellulose hat sich unter der Belastung sehr stark verändert. Die Filme sind getrübt, vergilbt und sehr brüchig.

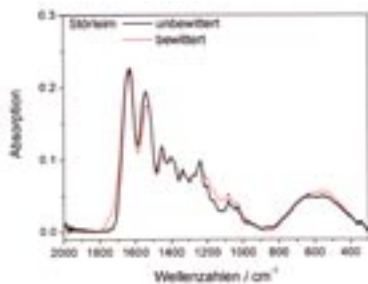
Bei den biologischen Tests ist bei den Algenpräparaten keine erhöhte Anfälligkeit auf Mikroorganismen festgestellt worden. Das traditionelle Funori sowie die neuen Algenprodukte verhalten sich wie die anderen mitgeprüften Festigungsmittel. Bei allen steigt die Gefahr eines Befalls mit zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit, ein Klima unter einer relativen Luftfeuchte von 70% ist für alle empfehlenswert.

Auf Grund der vorgenommenen Prüfungen fällt die Gesamtbeurteilung sowohl von traditionellem Funori wie auch der neuen Algenprodukte positiv aus. Sie sind vor allem Dank ihrer ausgezeichneten optischen Eigenschaften eine brauchbare Alternative zu gängigen Festigungsmitteln. Wie bei diesen sind die Materialzusammensetzung des Objektes und eine angepasste Applikationstechnik entscheidend für einen erfolgreichen Einsatz.

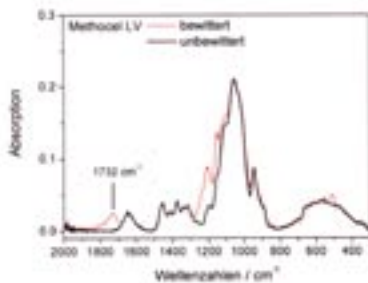
- 48 Infrarotspektren von *Gloiopeltis furcata*
- 49 Infrarotspektren von Störleim
- 50 Infrarotspektren von Methocel LV
- 51 Infrarotspektren von Klucel-E



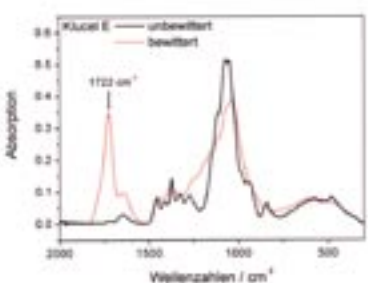
48



49



50



51

## Literaturverzeichnis

- 1 Chapman, V. J. Seaweeds and their uses 2. Aufl. Methuen&CO.1970.
- 2 Feller, R. L., Kunz, N. The effect of pigment volume concentration on the lightness or darkness of porous paints AIC Preprints 9th annual meeting Philadelphia, Pennsylvania, AIC Washington D.C. 1981, S. 66-74.
- 3 Feller, R. L., Kunz, N. Evaluation of Cellulose Ether for Conservation USA, The Getty Conservation Institute 1990.
- 4 Grantham, S. Developing an Approach to the Conservation of Japanese Screen through Historical & Technical Study and an Investigation of Current Practices Royal College of Art Victoria & Albert Museum.
- 5 Hiemenz, P. C. Polymer Chemistry – The Basic Concepts Marcel Dekker, New York, Basel 1984.
- 6 Hirase, S., Araki, S. C., Ito, T. Bull. Chem. Soc. Jpn. 31, 428-431 (1958).
- 7 Hirase, S., Watanabe K. Proceedings of the Seventh International Seaweed Symposium Sapporo, Japan, Section IV, 451-454, 1971.
- 8 Hoek van den, C.; Jahns, H. M.; Mann, D.G. Algen, Einführung in die Phykologie 3. neubearbeitete Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York (1993).
- 9 Hunter, R. S., Harold, R. W. The Measurement of Appearance Wiley & Sons, New York, Second Edition, 1987.
- 10 Izumi, K. Agr. Biol. Chem. 35, 5, 633-657 (1971).
- 11 Kariya, H. The use of Funori as a consolidant on matte paint layers: the conservation of a monumental polychrome sandstone Bodhisattva Unveröffentlicht. Restaurierungsbericht Conservation Center, New York University 14 East 78th Street, New York, NY 10021.
- 12 Kessler, A. Anwendung von Aerosolen zur Konsolidierung matter Farbschichten unterschiedlicher Schadensbilder unter Berücksichtigung des Eindringverhalten des Konsolidierungsmittels. Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart 1997.
- 13 Korb, M. Funori – Seine Verwendung in der Konservierung und Restaurierung von Gemälden und Skulpturen Fachhochschule Köln, Fachbereich Konservierung und Restaurierung von Kunst und Kulturgut 1995.
- 14 Lechner, M. D.; Gehrke, K. Makromolekulare Chemie – Ein Lehrbuch für Chemiker, Physiker, Materialwissenschaftler und Verfahrenstechniker Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin 1993.
- 15 Lewis, J. G., Stanley, N. F., Guist, G. G. Commercial production and application of algal hydrocolloids in Lembu, C.A., Waaland, J.R. Algae and human affairs Cambridge University Press.
- 16 Lüning, K. Meeresbotanik: Verbreitung, Ökophysiologie und Nutzung der marinen Makroalgen. Georg Thieme Verlag Stuttgart 1985.
- 17 Masuda, K. Les adhésifs végétaux utilisés dans l'atelier de Hyoguchi, restaurateur et monteur de peintures japonaise Adhesive and Consolidants, Paris Congress 1984, Brommelle, N. S., 1984, S. 127-128, ICCROM (02981326).
- 18 Meredith, P. Bericht aus der Werkstatt eines japanischen Aufziehers IADA Papierrestauratorenverband 1987, Nr.25, S. 1-6.
- 19 Noda, Mitsuzo Marine Algae of the Japan Sea Kazama Shobo, Tokyo
- 20 Sands, R., Glicksman, M. Seaweed Extract of Potential Economical Importance in Industrial Gums. Polysaccharides and their Derivates Whistler, R., Miller, B., James, N., New York, London 1973 S. 147-194.
- 21 Sommermeyer, B. Konsolidierung matter, puderiger Malschichten aus dem Bereich der modernen Kunst Anwendung ultraschallvernebelter Konsolidierungsmittel Staatliche Akademie der Bildenden Künste Stuttgart 1998.
- 22 Takagi, T.; Asahi, M.; Itabashi, Y. Yukagaku 34, 12, 1008-1012 (1985).
- 23 Takano, R., Hayashi, K., Hara, S., Hirase, S. Carbohydrate Polymers 27, 305-311 (1995).
- 24 Takano, R., Iwano-Sakata, H., Hayashi, K., Hara, S., Hirase, S. Carbohydrate Polymers 35, 81-87 (1998).
- 25 Tokuda, H., Kawashima S., Ohno M., Ogawa H. Seaweeds of Japan A Photographic Guide Midori Shobo.
- 26 Tseng, C. K. Economic seaweeds under commercial cultivation and their economics The Biology of Seaweeds, Botanical Monographs Blackwell Scientific, 1981, Vol. 17, S. 680-725.
- 27 Tseng, C. K. Chinese seaweeds in herbal medicine 11. International seaweed symposium Hydrobiologia, vii: 116/117 1984.
- 28 Winter, J. Les adhésifs dans la peinture extrême-orientale Adhesive and Consolidants, Paris Congress 1984 Brommelle, N. S., 1984, S. 122-125 ICCROM (02981326).
- 29 Zosel, A. Lack- und Polymerfilme Vincentz Verlag, Hannover 1996.

## Summary

Funori, a Japanese glue extracted from red algae, has in the last few years become known to conservators as an especially suitable product for the consolidation of matte paint. The text summarizes information about the habitat, the cultivation and the chemical structure of the seaweeds used for Funori. Quality control and the problems that exist in the traditionally produced Funori are discussed. A recipe for a traditional Funori solution along with a purifying treatment for the seaweed and thus a new type of Funori product is described. Seaweed materials are compared with other water based products

that produce adhesives such as cellulose ethers, sturgeon glue and gelatine. The results of consolidation tests and investigations concerning the chemical and physical properties, the aging and the liability to biological attack are presented.

## Résumé

Le texte réunit des informations concernant l'habitat, la culture et la structure chimique des algues dont le traitement aboutit à la colle Funori. Un chapitre est consacré aux variations de qualité du matériel traditionnel. Une recette pour la préparation d'une

solution traditionnelle de Funori est proposée. On décrit par ailleurs le procédé de nettoyage utilisé pour un nouvel agent de consolidation fabriqué à partir d'algues. Les produits à base d'algues sont comparés à d'autres agents de consolidation aqueux tels que l'éther de cellulose, la colle d'esturgeon et la gélatine. Les résultats des essais de consolidation et les recherches effectuées sur la stabilité chimique et physique, sur le vieillissement et sur la sensibilité aux micro-organismes sont également présentés.